ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XVI Avril 1957 NUMÉRO 62

SOMMAIRE

070.432:001.1
Article de Tête: Vers l'unité des connaissances 63

621.039.42:621.311.2
Générateurs nucléaires de courant électrique — SIR CHRISTOPHER HINTON, M.A., D.Eng., D.Sc.(Eng.), F.R.S. — 65

581.332:582.28
La libération des spores chez les champignons supérieurs — C. T. INGOLD, D.Sc. — 78

631.43:581.111
L'alimentation en eau des végétaux — J. P. HUDSON, M.Sc., Ph.D. — 84

575.112:576.312.2:547.963.32
Les fondations moléculaires de l'hérédité — W. G. OVEREND, D.Sc., Ph.D., F.R.I.C., et A. R. PEACOCKE, M.A., B.Sc., D.Phil. — 90

581.23:576.858
Les maladies à virus des végétaux et leur identification — R. MARKHAM, M.A., Ph.D., F.R.S. — 99

92:582
Linné (1707–1778) — W. O. JAMES, M.A., D.Phil., F.R.S. — 107

049.3
Revue des livres 112

Brèves notices bibliographiques 119

Notes biographiques sur les collaborateurs 120

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TRÉVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
(*Pour les éditions étrangères:* G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E.)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Vers l'unité des connaissances

Les siècles n'ont rien ôté de la validité du vieil adage: *tempora mutantur nos et mutamur in illis;* mais il faut constater pourtant que personne aujourd'hui ne semble en tenir compte. Le siècle passé a vu s'opérer un changement complet dans notre manière de vivre, dû surtout aux découvertes scientifiques et à leurs applications; mais il est manifeste que notre civilisation n'a pas évolué en conséquence. Bien que cela ne soit guère surprenant quand on songe à la rapidité effarante des progrès matériels, on se demande tout de même si nous ne nous abandonnons pas trop facilement au courant de cette évolution technique sans chercher à y faire correspondre l'évolution de nos idées.

On dit que la discorde qui sévit aujourd'hui de par le monde provient du fait que le progrès moral de l'homme ne s'est pas accommodé à l'allure rapide et à l'importance de ses acquisitions matérielles. C'est certainement le cas; mais les problèmes moraux naissent souvent de circonstances matérielles: des maux purement matériels tels que la misère, la famine et les épidémies, sont le prétexte d'abus et de violences que l'on prétend destinés à réparer des torts moraux. Ce serait certes un monde mal fait, où seules les valeurs matérielles compteraient; cependant, il aurait des chances de s'améliorer si chacun était mieux vêtu, logé, nourri et soigné. C'est vraisemblement l'utilisation à fond de nos ressources scientifiques qui sera le meilleur moyen de satisfaire à ces besoins matériels.

Si cette thèse est adoptée, il s'ensuit qu'il faudrait diffuser largement et promptement les progrès scientifiques et techniques, et faire comprendre au public la nature et l'importance de la science et de la technologie. On ne peut dire que l'organisation actuelle à cet effet soit satisfaisante. Ce qui est plus grave c'est qu'il n'est pas certain que les dangers qui pourraient découler d'une telle carence soient compris des dirigeants.

La solution du problème n'est pas encore en vue; mais le premier pas serait d'en reconnaître la gravité et aussi la nécessité d'un changement radical. Les opinions peuvent varier sur la nature de ce changement, surtout parce que chaque pays et chaque catégorie sociale ont leurs propres problèmes. On s'accorde cependant sur certains points.

Ainsi on convient que le problème de base gît dans l'éducation qui, dans le sens le plus large, se poursuit toute la vie, mais qui dépend généralement de l'orientation reçue pendant la jeunesse. Il faudrait ici concilier deux tendances: d'une part, le progrès de la civilisation, telle qu'elle est aujourd'hui, est fonction du nombre de gens pourvus de connaissances techniques avancées. Or, des facteurs économiques et autres font qu'on ne peut consacrer à l'instruction traditionnelle qu'un nombre d'années limité. Il s'ensuit que chacun devant se spécialiser assez tôt n'a pas le loisir de «faire ses humanités». Ceci est une lacune grave, car les influences humanisantes ne sont pas tellement répandues pour qu'on puisse impunément en réduire le nombre. D'autre part, une instruction basée uniquement sur les humanités convient peu à notre temps. La question est donc de savoir comment introduire les sciences parmi les humanités, ou l'inverse, de façon que chacune de ces disciplines puisse conserver sa valeur propre dans le mélange résultant.

Cela ne paraît pas impossible. Il semble que la difficulté réside, en partie, en la tendance à considérer les sciences et les humanités comme deux disciplines distinctes qui, tout en n'ayant rien de commun, peuvent être étudiées simultanément. Or, si ce préjugé pouvait être écarté, et les deux disciplines reconnues comme étant des parties différentes du vaste domaine des connaissances humaines, cela ouvrirait des perspectives illimitées. Il y a un siècle le volume de savoir représenté par les humanités dépassait de fort loin celui des sciences. Depuis, le progrès des humanités s'est ralenti, tandis que celui des sciences a fait des pas de géant. Les deux réunies constitueraient une somme impressionnante.

Certains indices portent à croire qu'une telle synthèse n'est pas irréalisable. Au sein de la science elle-même, il y a actuellement un mouvement d'unification qui, il y a seulement quelques décennies, aurait semblé impossible. Au cours de la majeure partie du XIXe siècle les sciences progressaient le long de trois voies principales, apparemment divergentes: la physique, la chimie et la biologie. Actuellement cette divergence a diminué sensiblement, et les domaines les plus fertiles sont ceux où diverses branches de la science se sont rencontrées. Plus que jamais il nous faut des spécialistes; mais la spécialisation à outrance est, semble-t-il, de moins en moins rentable, sauf pour ceux qui en ont la vocation. De plus, on reconnaît de plus en plus ce qu'il y a d'artificiel dans la distinction, naguère si importante, entre

sciences pures et appliquées: les problèmes que posent celles-ci font appel à l'intelligence avec autant de force que ceux de la science «pour la science». Les événements ont prouvé que le concept hellénique de l'infériorité des choses pratiques sur le plan intellectuel était une fatale erreur; mais cette idée pourrait tout aussi bien entraîner la ruine de notre civilisation.

Il y a des arguments plus substantiels que de simples analogies en faveur de l'intégration des sciences et des humanités. L'archéologie, par exemple, a trouvé un regain de vitalité dans l'utilisation de nombreuses méthodes scientifiques; le savant y est maintenant chez lui aussi bien que l'érudit. L'histoire, dont le domaine accru comprenait déjà les histoires politique, sociale et économique, s'étend actuellement à l'histoire de la science et de la technologie, naguère des sujets isolés. Des savants de carrière s'occupent de plus en plus de questions philosophiques et religieuses.

Ce serait aller trop loin que de se fonder sur ces quelques rapprochements pour proclamer l'avènement d'une nouvelle époque, mais il ne fait pas de doute qu'ils indiquent des possibilités qui valent la peine d'être étudiés. L'unification des connaissances doit nécessairement être une tâche formidable, d'une difficulté croissante, tant en raison des lacunes à combler que du volume des connaissances en cause. Il serait tout aussi difficile d'en extraire un système d'instruction générale qui ferait ressortir l'unité acquise tout en ayant assez de souplesse pour s'adapter aux besoins de chaque nation et à la diversité des capacités et des aspirations individuelles. Néanmoins, les imperfections des systèmes traditionnels et le déséquilibre qu'entraîne l'intérêt que l'on porte aux sujets purement techniques, rendent indispensable un renouvellement complet de nos idées.

Une telle réforme pourrait être d'une très grande portée pratique aussi bien que culturelle. Les savants sont nombreux et influents dans la société, et cependant, en raison d'un préjugé tenace, ils ne participent pas à la direction supérieure des affaires. Le public commence à comprendre que le concours des savants est de plus en plus nécessaire, mais ce n'est pas seulement leur valeur scientifique qui justifierait ce revirement d'opinion: il faudrait au savant des connaissances et une expérience plus larges s'il aspire à être plus qu'un conseiller technique. Parallèlement, l'organisation des sciences est actuellement si complexe que les problèmes administratifs y tiennent une grande place. Or, l'aptitude scientifique ne s'accompagne pas forcément de talent administratif. Celui-ci, d'autre part, quand il doit s'exercer dans le domaine scientifique, doit être secondé par un certain bagage technique. Tout ceci fait ressortir la nécessité d'un système éducatif qui fournirait un terrain commun au savant et à l'humaniste.

Les deux partis devraient s'employer à trouver ce terrain commun; mais pour le moment l'initiative appartient aux hommes de science dont un grand nombre ont prouvé qu'ils sont capables de participer à l'orientation et la direction des affaires sur un plan supérieur. L'inverse est malheureusement impossible pour le moment, et ceci pour la raison que les hommes mûrs et expérimentés qui normalement sont chargés de déterminer une politique ne sont plus d'âge à entreprendre les études scientifiques assez poussées qui les mettraient en mesure de prendre des décisions concernant des questions scientifiques. Une autre considération est qu'un programme d'études où les sciences auraient une part importante contribuerait à former le jugement.

Que l'on désire acquérir des connaissances «pour le plaisir» ou pour le profit matériel — la plupart des gens pensent que les deux fins sont souhaitables — l'argument en faveur d'une fusion des sciences et des humanités semble irréfutable, et une telle fusion pourrait être aussi fructueuse que le «croisement» entre certaines branches de la science que l'on avait crues irrévocablement divergentes.

Générateurs nucléaires de courant électrique

par SIR CHRISTOPHER HINTON

La Grande-Bretagne fut le premier pays à établir une centrale électrique atomique à dimensions normales. Trois génératrices, beaucoup plus importantes, ont été commandées par la régie (britannique) de l'électricité, en sus des trois qui sont en construction pour le compte de la régie de l'énergie atomique. Cet article autorisé passe en revue les facteurs qui ont amené le choix pour Calder Hall du réacteur à modérateur de graphite et refroidissement à gaz; on peut prévoir que dans les conditions actuelles en Angleterre et dans certains autres pays, mais non pas tous, ce type de réacteur sera, en tout cas pour les quinze années à venir, le plus approprié. Il y est aussi question de l'avenir des réacteurs perfectionnés représentés surtout par le prototype rapide de Dounreay.

La seule réaction nucléaire utilisable dans la limite de nos connaissances actuelles pour libérer de la chaleur transformable en énergie électrique est la fission de l'un des éléments lourds placés au bas de la classification périodique. Il n'existe dans la nature qu'un atome fissile, l'isotope de l'uranium de poids atomique 235. Il en résulte que tout programme de production industrielle d'énergie nucléaire doit se fonder sur l'utilisation d'uranium.

Lorsqu'a lieu la fission de U^{235}, il y a production de chaleur; la formation de produits de fission peut inclure toute la gamme des éléments centraux de la classification périodique; il se produit en moyenne un peu plus de 2,5 neutrons. Pour que la réaction en chaîne se maintienne, l'un au moins de ces neutrons doit servir à une fission suivante; les autres peuvent être absorbés sans servir à rien ou de façon utile. Pour produire de l'énergie, il est évident qu'il faut réduire au minimum l'absorption inutile, ce qui se réalise en éliminant les impuretés responsables; l'absorption utile doit être le fait d'atomes qui donnent par là naissance à des isotopes ou des produits de descendance qui peuvent servir à des réactions ultérieures.

Lorsqu'on se sert d'uranium naturel comme combustible dans un réacteur nucléaire, l'élément absorbant le plus important de l'ensemble est U^{238}. Par absorption de neutron, cet atome forme un isotope instable qui, ensuite, se désintègre pour former le plutonium, celui-ci fissile comme U^{235}. La figure 1 représente la réaction en chaîne en jeu dans ce procédé. L'isotope fissile n'entre pas pour plus de 0,7% dans la composition de l'uranium naturel; les 99,3% restants sont presque entièrement constitués par l'isotope non fissile U^{238}. On peut enrichir l'uranium naturel en isotope fissile en le traitant dans une installation de diffusion gazeuse, mais c'est là un procédé onéreux qui exige une très grosse dépense d'énergie électrique. Il en résulte que dans les premières démarches d'un programme d'installation nucléaire, il est souhaitable d'utiliser l'uranium naturel, ou en tout cas de l'uranium où l'isotope fissile n'a été que partiellement concentré.

MODÉRATEURS

Le nombre d'atomes U^{238} pouvant servir de cibles pour les neutrons libérés dépasse de loin le nombre d'atomes-cibles U^{235}; suivant les lois probabilitaires, la plupart des neutrons émis seraient absorbés en atomes de U^{238} et un très petit nombre d'entre eux iraient frapper les atomes de U^{235} pour produire de nouvelles fissions. Dans ces conditions, la réaction en chaîne ne se maintiendrait pas. On peut cependant accroître la possibilité de fission d'un atome de U^{235} par un neutron et réduire celle de son absorption dans un atome de U^{238}, si l'on réduit les très hautes vitesses initiales des neutrons en vitesses thermiques en leur faisant partager leur énergie avec d'autres atomes avant qu'ils ne frappent les atomes d'uranium. Le matériau utilisé pour réduire la vitesse des neutrons est appelé un modérateur. Convenant le mieux comme modérateurs sont: l'hydrogène, l'hydrogène lourd, le béryllium et le graphite. Les atomes du modérateur dans lequel les éléments du combustible uranium sont disposés en un réseau calculé peuvent évidemment se trouver en combinaison chimique avec d'autres atomes, mais ces derniers ne doivent pas absorber inutilement des neutrons. Ces réacteurs se nomment réacteurs thermiques

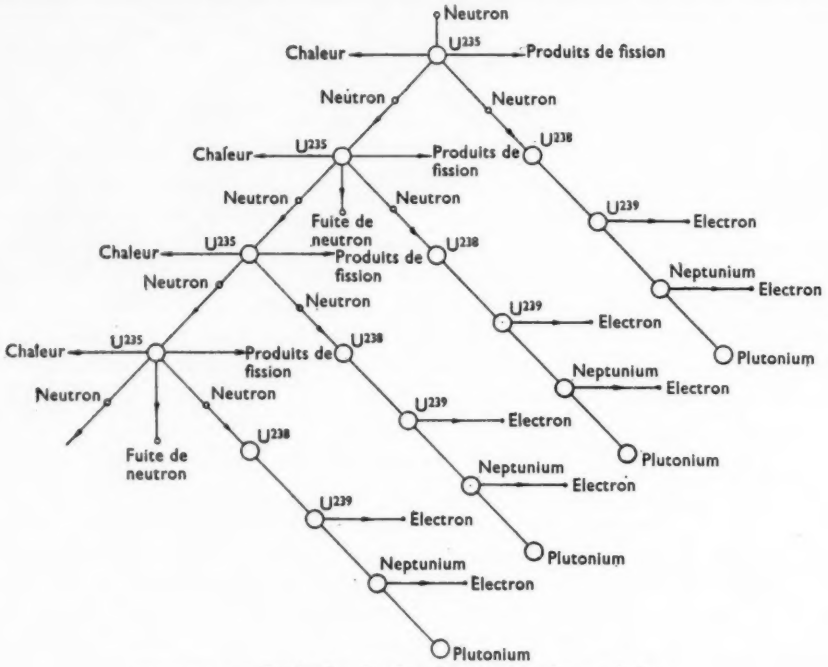


FIGURE 1 – *Production du plutonium par réaction en chaîne.*

parce que les neutrons y sont ramenés avant usage à des vitesses thermiques.

Lorsqu'on emploie comme modérateur des atomes de carbone, c'est normalement sous forme de graphite, à la fois parce que le processus de graphitation supprime certaines impuretés qu'il serait difficile d'éliminer autrement et parce que les propriétés physiques et mécaniques du graphite en facilitent l'utilisation industrielle. On peut prendre comme modérateur l'hydrogène soit en combinaison avec l'oxygène sous forme d'eau, soit sous forme d'hydrocarbure. L'hydrogène lourd est employé d'habitude sous forme d'eau lourde, le béryllium sous forme d'oxyde.

Tous ces modérateurs ont leurs avantages et leurs inconvénients. On peut se procurer assez facilement du graphite de pureté convenable; son prix est abordable et il n'y a pas avec lui de grosse perte en neutrons. Son inconvénient est de réagir chimiquement au-dessus de 500 à 600°, ce qui limite le choix des matériaux de construction des réacteurs au graphite destinés à opérer à de telles températures. Son autre inconvénient est d'être encombrant, ce qui rend difficile la construction des réacteurs au graphite compacts.

On se procure facilement et à bas prix l'hydrogène sous forme d'eau, mais son inconvénient est qu'aux températures et degrés de pureté que l'on doit réaliser dans une pile atomique, il est très corrosif pour la plupart des matériaux de construction et réagirait rapidement avec l'uranium des éléments combustibles s'il venait à se produire des failles dans la gaine protectrice qui les entoure. L'eau a un autre inconvénient: aux températures élevées auxquelles il faut travailler, il faut une pression élevée pour l'empêcher de bouillir. Certains projets devraient alors comporter des enveloppes résistantes à la pression, ce qui amènerait à limiter les dimensions du noyau réacteur. En outre, l'eau a l'inconvénient de causer d'assez grosses pertes en neutrons et il n'est pas possible de concevoir un réacteur à modérateur d'eau où le combustible soit de l'uranium naturel non enrichi. On peut éviter certains de ces inconvénients en utilisant l'hydrogène sous la forme hydrocarbure, mais on s'est heurté à une difficulté du fait de l'instabilité des hydrocarbures qui, sous l'effet de l'irradiation des neutrons, ont tendance à former des goudrons.

Le deutérium utilisé comme modérateur l'est en général sous forme d'eau lourde: il présente bien des inconvénients de l'hydrogène de l'eau ordinaire. Un autre inconvénient qu'il avait jusqu'à ces derniers temps, c'est qu'il était très onéreux et difficile à obtenir. Les Etats-Unis ont toutefois offert récemment l'eau lourde à des prix très

inférieurs à ceux que l'on pratiquait normalement jusque-là. Les perspectives de l'emploi du deutérium sont ainsi considérablement améliorées. Au point de vue de l'économie de neutrons, l'hydrogène lourd est le meilleur de tous les modérateurs, ce qui est un immense avantage.

Utilisé sous forme d'oxyde, le béryllium offre l'intérêt d'une très grande stabilité chimique et thermique. Son emploi comme modérateur permettrait d'atteindre des températures qui semblent irréalisables avec les autres modérateurs considérés. Son économie de neutron est comparable à celle du graphite. D'autre part, il est d'obtention difficile et actuellement de prix très élevé.

FLUIDES RÉFRIGÉRANTS

Outre le combustible et le modérateur, le dernier élément essentiel entrant dans la composition du «noyau» d'un réacteur est le réfrigérant, et le choix du fluide destiné à cet emploi est un facteur déterminant de la stabilité, et par conséquent de la sécurité, de l'appareil. Si l'on adopte un modèle où le réfrigérant est plus efficace comme absorbeur de neutrons que comme modérateur, le réacteur aura une instabilité permanente. Supposons par exemple un réacteur où le modérateur est le graphite et l'eau le réfrigérant, tandis que les éléments combustibles sont représentés par des barres d'uranium couchées dans un tube au milieu desquelles l'eau circule. Cette eau joue dans une certaine limite un rôle modérateur, mais son effet le plus important dans la détermination des caractères physiques nucléaires du noyau réacteur est qu'elle absorbe les neutrons. Si par suite d'un accident mécanique ou électrique, l'arrivée d'eau se trouvait interrompue, la chaleur émise par les éléments combustibles serait assez élevée pour faire passer à l'état de vapeur l'eau de refroidissement et celle-ci se trouverait rejetée sous cette forme hors des tubes. Il resterait ainsi bien moins d'atomes autour des éléments combustibles qu'il n'y en a d'habitude; l'absorption de neutrons serait donc réduite. A moins d'un déclenchement immédiat du dispositif de sécurité, les neutrons précédemment absorbés par le réfrigérant resteraient libres et pourraient causer de nouvelles fissions. Dans ces conditions l'activité de la pile s'accroîtrait jusqu'à fusion et effondrement du noyau. Il faut éviter cette instabilité: c'est la question primordiale dans le choix du réfrigérant et la conception du réacteur. En dehors de cette restriction importante, on peut choisir n'importe quel réfrigérant liquide ou gazeux, à condition que son absorption de neutrons ne soit pas trop forte et que ses propriétés physiques et chimiques soient convenables.

Les réfrigérants gazeux ont en général une section transversale d'absorption pour les neutrons peu importante, et on ne risque pas des instabilités comme celle dont il vient d'être question. Il est possible, de plus, de choisir des gaz doués d'autres caractéristiques qui les rendent propres à l'usage dans un réacteur. Mais tous les gaz ont l'inconvénient d'une faible capacité calorifique qui se traduit par une consommation d'énergie bien plus grande pour les faire circuler. Parmi les gaz possibles, le gaz carbonique est bon marché, assez stable et assez peu corrosif. L'hélium est parfaitement inerte, ce qui résout pas mal des problèmes métallurgiques de construction; mais il est coûteux et offre l'inconvénient, sérieux pour le Royaume-Uni, que l'Amérique seulement peut le fournir en quantités massives. L'hydrogène serait idéal au point de vue physique, car ses propriétés calorifiques sont bien plus avantageuses que celles des deux précédents, mais son emploi dans les réacteurs nucléaires à hautes températures pose des problèmes métallurgiques très sérieux.

Avec les réfrigérants liquides le transfert de chaleur se fait bien mieux qu'avec les gaz: ils permettent donc de sérieuses économies d'énergie nécessaire pour la circulation du réfrigérant. Ils permettent aussi d'améliorer beaucoup les rendements, c'est-à-dire les dégagements de chaleur, par unité de masse de combustible du noyau réacteur.

Les meilleurs réfrigérants liquides sont de toute évidence l'eau, l'eau lourde, les hydrocarbures et les métaux liquides. Outre la question de la stabilité du réacteur, l'emploi de l'eau présente les inconvénients techniques dont il a été question à propos de son emploi comme modérateur. Les hydrocarbures sont instables sous l'effet de l'irradiation neutronique. Parmi les métaux, le sodium et le bismuth ont une petite section transversale d'absorption neutronique et des points de fusion bas; ils semblent être les meilleurs réfrigérants de ce type.

Ainsi donc l'on se trouve, pour le choix du meilleur réacteur thermique, devant un nombre embarrassant d'alternatives, étant donné que, théoriquement, on peut utiliser n'importe quel modérateur en conjonction avec n'importe quel réfrigérant.

LE RÉACTEUR À MODÉRATEUR DE GRAPHITE ET REFROIDISSEMENT GAZEUX

A la lumière de ces considérations, le choix de ce réacteur dans le cadre des travaux de départ du

Programme Britannique d'Energie Atomique se fit sans difficulté. Pour le modérateur, on ne pouvait obtenir facilement ni eau lourde, ni béryllium. Si l'on se sert d'eau ordinaire, il faut que le combustible soit de l'uranium enrichi, lequel n'était pas à notre portée lorsque furent construits nos premiers réacteurs. Nous pouvions avoir assez de graphite de qualité convenable et son économie en neutrons permettait de l'utiliser avec l'uranium naturel comme combustible.

Les réacteurs construits en Amérique pendant la guerre pour la production du plutonium avaient comme modérateur le graphite et l'eau comme réfrigérant. Nous avons déjà souligné l'instabilité inhérente à ce système; c'est pourquoi on adopta en Amérique de grandes marges de sécurité dans le choix de l'emplacement des installations. On ne pouvait trouver en Angleterre d'endroits aussi éloignés et en dépit du fait que le rendement dût être plus faible et que le projet exigeât un capital de départ uranium plus important, on décida d'employer pour les premières piles de Windscale le refroidissement à air. A l'époque de leur construction, le problème de la récupération de la chaleur à une température suffisante pour l'utilisation énergétique ne put recevoir une solution assez rapide et les réacteurs de Windscale construits pour des fins défensives furent refroidis par de l'air insufflé à la pression atmosphérique sur les éléments combustibles en laissant la chaleur se perdre dans l'atmosphère.

Lorsqu'il devint possible, vers 1950, de considérer la construction de réacteurs dans lesquels la chaleur de fission pouvait servir à produire du courant électrique, on trouva encore que les mêmes considérations essentielles l'emportaient sur toutes les autres. Les recherches métallurgiques et l'expérience pratique obtenue avec les réacteurs de Windscale avaient rendu possible l'extraction de la chaleur à des températures assez élevées pour permettre la production d'énergie utilisable par l'intermédiaire d'un cycle de vapeur. Bien que déjà on produisît l'uranium enrichi de façon massive à l'usine de Capenhurst, il était réservé au plan de défense et seulement des quantités limitées étaient disponibles pour la recherche et le programme industriel. Il fallait donc choisir un réacteur pouvant utiliser comme combustible le seul uranium naturel: l'emploi de l'eau comme modérateur se trouvait donc exclu. On ne pouvait obtenir ni eau lourde ni béryllium; le graphite s'imposait donc comme modérateur.

On se rendit compte que pour la construction d'un réacteur industriel, il fallait adopter un système assuré d'une stabilité inhérente, ce que l'on réalisait le plus facilement par l'emploi d'un réfrigérant gazeux. Remarquons que dès ce moment on était arrivé à la conclusion qu'il était possible de bâtir un système stable avec modérateur de graphite et l'eau comme réfrigérant, à condition que la quantité d'eau de l'anneau réfrigérateur fût assez grande pour que l'effet de l'eau comme modérateur compensât son effet absorbant dans l'équilibre neutronique de la pile. Cette quantité d'eau supplémentaire ne pouvait cependant être introduite dans l'anneau de réfrigération qu'à condition d'utiliser dans la pile de l'uranium enrichi; cet élément, nous le savons, n'était pas accessible. D'ailleurs, l'emploi de l'eau comme réfrigérant aurait soulevé les problèmes métallurgiques de corrosion des tubes et d'attaque des éléments combustibles.

L'usage comme réfrigérants, de métaux liquides, aurait exigé également l'enrichissement du combustible, et à l'époque dont il s'agit la technique de l'emploi des métaux liquides présentait encore des problèmes considérables. On convint donc de construire les premiers réacteurs britanniques générateurs d'énergie sur le système: modérateur de graphite — réfrigérant gazeux. L'hélium, malgré ses avantages de parfaite stabilité chimique, n'était pas accessible. L'hydrogène posait des problèmes dus à sa réactivité avec les matériaux de construction. Le gaz carbonique, par contre, était bon marché et suffisamment inerte aux températures prévues pour être tout à fait satisfaisant.

Les réacteurs de Calder Hall ont été, ailleurs, décrits en détail[1]: leur schéma d'ensemble ainsi que leur disposition extérieure sont présentés par les figures 2 et 7. Le combustible est constitué par des barres d'uranium de 3 cm de diamètre sous gaines en alliage de magnésium auxquelles sont fixées des ailettes pour favoriser le transfert de chaleur. Les éléments combustibles se trouvent dans des canaux verticaux pris dans la masse du modérateur de graphite. Pour améliorer la capacité réfrigérante du gaz carbonique et réduire la quantité d'énergie nécessaire à sa circulation, l'ensemble du système se trouve sous une pression de 7 atmosphères. A cet effet, il est nécessaire d'enclore tout le noyau réacteur dans un récipient d'acier ayant 11,4 mètres de diamètre, 21 mètres de long et 5 cm d'épaisseur. La circulation du gaz est assurée par quatre soufflantes électriques: il quitte le réacteur à une

[1] Voir, par exemple, JAY, K. «Calder Hall». Methuen, Londres. 1956.

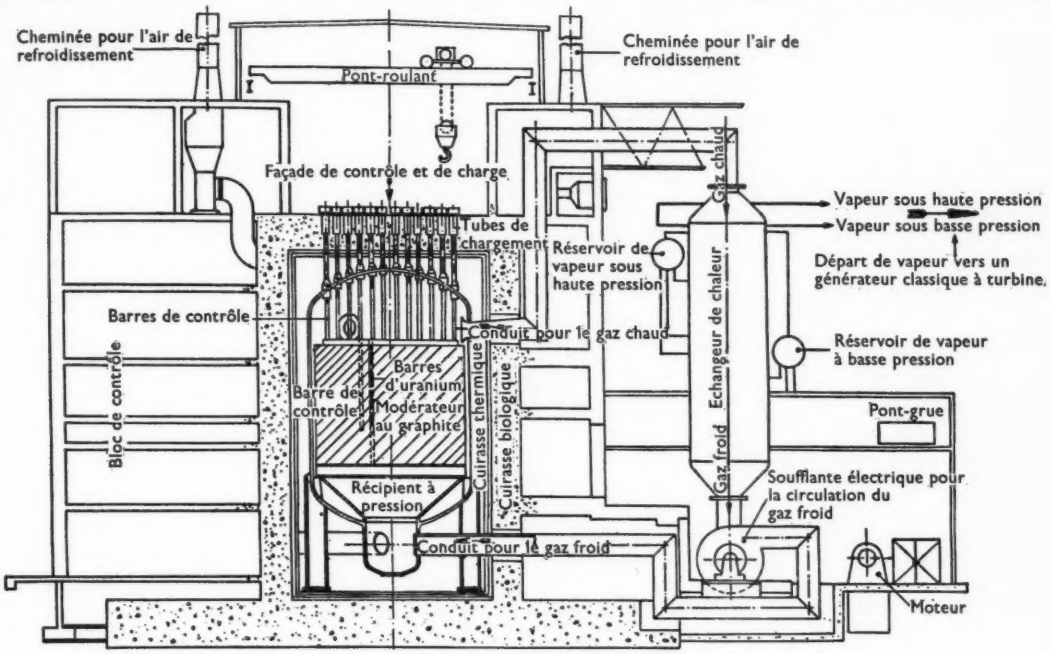


FIGURE 2 – *Schéma du réacteur de Calder Hall.*

température de 336°, passe sur des tubes garnis de bosses, soudées par résistance, qui augmentent la surface conductrice de chaleur, et abandonne sa chaleur qui se transmet par cette surface de transfert à de l'eau circulant à l'intérieur. La vapeur s'en dégage à 14 kg/cm² et à 3,7 kg/cm² et sert dans un système à double alimentation de pression dans une turbine de type classique à la génération du courant électrique.

Le réacteur du type Calder Hall a l'avantage d'une stabilité inhérente; sa marche ne comporte pas plus de risques que ceux normalement associés à celle des installations chimiques les plus courantes; son combustible est l'uranium naturel que l'on se procure très facilement; sa construction ne fait appel qu'à des matériaux et à des techniques déjà éprouvés. Les réacteurs de ce type actuellement en projet à l'intention de l'Electricité Britannique peuvent produire le courant à un prix de revient unitaire sensiblement égal à celui que produit une centrale moderne du type ordinaire. Le réacteur à modérateur de graphite et réfrigérant gazeux est le seul qui puisse, à l'heure actuelle se prévaloir de tous ces avantages.

Il est évident que ce système est susceptible de perfectionnements importants; ceux-ci seront apportés aux projets nouveaux à mesure que s'accroîtra le profit de l'experience acquise et de la recherche. Les progrès des techniques de soudage et de radiographie industrielle permettront de fabriquer des enveloppes d'épaisseurs capables de résister à des pressions accrues. L'ingénieur aura ainsi le choix entre l'accroissement du diamètre du noyau réacteur, ce qui fera monter le rendement du système en diminuant par là même le prix de revient unitaire de l'énergie, ou bien l'accroissement de la pression du gaz en circulation de façon à réaliser un abaissement de l'absorption de puissance dans les circuits gazeux et une diminution des différences de température entre le combustible et le courant gazeux, ou un débit de chaleur plus élevé.

Les recherches s'appliquant à la métallurgie de l'uranium et de ses alliages, aux matériaux de gainage et enfin, à la stabilité du graphite, permettront d'atteindre des températures plus élevées dans le circuit de vapeur en même temps qu'une meilleure stabilité thermique. Si l'on surmonte les difficultés de l'emploi de l'hydrogène comme réfrigérant, qui résident principalement dans la fissuration des éléments d'acier du dispositif à gaz comprimé et la réaction de l'hydrogène sur l'uranium combustible, on obtiendra un débit infiniment supérieur avec une dépense d'énergie infiniment moindre à l'intérieur du circuit.

Il est hors de doute que grâce à ces perfectionnements et dans les conditions existant en Grande-Bretagne et certains autres pays, le réacteur à modérateur de graphite et réfrigération gazeuse se présente comme le type le plus éminemment adapté pour la grande centrale atomique terrestre, le meilleur pour les quinze années à venir, et que l'on continuera encore longtemps ensuite à en construire. L'examen du développement des machines motrices de tous types nous apprend que pour chacune le poids par cheval-vapeur décroît avec le temps; les installations des centrales atomiques prendront sans doute le même chemin. Le poids par unité de cheval-vapeur dans une telle installation ne peut décroître que si l'on accroît le débit de chaleur du combustible. On a déjà souligné qu'il est possible de réaliser de tels accroissements dans le réacteur à modérateur de graphite et réfrigérant gazeux, mais les réfrigérants liquides sont toujours physiquement bien meilleurs pour le transfert calorifique que ne le sont les gaz.

RÉACTEURS À GRAND DÉBIT

Outre que l'examen de l'évolution des machines motrices fait ressortir la nécessité de tels projets, il y a aussi le facteur supplémentaire suivant. Les réacteurs dont le combustible est l'uranium naturel et l'électricité le produit principal, ont pour sous-produit le plutonium. Ce plutonium, qui peut s'extraire du combustible irradié par des procédés chimiques maintenant bien élaborés, est à son tour un combustible nucléaire; c'est un matériau fissile; il ne peut être question d'en utiliser des quantités illimitées pour les besoins militaires; il restera donc disponible pour le programme industriel. L'emploi de plutonium comme combustible soulève pas mal de difficultés, mais cet élément existant, avec sa possibilité théorique d'emploi, il est hors de doute que l'on trouvera des moyens de résoudre ces difficultés. Une fois extrait du combustible irradié, le plutonium sera disponible comme élément fissile pur. Diluer un élément fissile de cette pureté pour pouvoir l'utiliser dans un réacteur à faible débit, serait un manque de bon sens du point de vue théorique et du point de vue pratique. Pour que ce matériau fournisse son plein rendement, il faut l'utiliser dans un réacteur capable de débits très élevés, afin que l'on puisse retirer de frès grandes quantités de chaleur de chaque kilo de ce précieux combustible employé dans toute sa pureté.

Il est donc nécessaire de sélectionner quelques autres types de réacteurs capables de travailler à grand débit, et il faut les englober dans le programme de l'expansion industrielle anglaise. Ce choix n'est en aucune façon aussi facile que le premier qui dut être fait au premier stade de ce programme et qui aboutit à l'adoption presque automatique du système à modérateur de graphite et réfrigérant gazeux.

Pour l'utilisation dans les grands réacteurs terrestres, il nous faut encore nous résigner au fait qu'on ne peut se procurer le béryllium en quantité suffisante et l'éliminer comme modérateur. L'eau lourde présentait d'abord peu d'attrait en raison de son prix élevé. Il ne faut pas oublier, d'autre part, que l'équipe de recherches du Canada a favorisé depuis longtemps l'emploi des réacteurs à eau lourde; c'est un réacteur de ce type que cette équipe se prépare en ce moment à installer sur un terrain qui est la propriété de l'Ontario Hydro-electric Power Commission, à seize kilomètres de Chalk River. Le système proposé emploie l'eau lourde à la fois comme modérateur et comme réfrigérant; la chaleur est transmise du circuit réfrigérant à un second circuit réfrigérant contenant de l'eau ordinaire qui produit la vapeur destinée aux turbines. Ce système implique toutes les difficultés métallurgiques inhérentes à l'emploi d'eau très pure à forte pression et à des températures très élevées, et l'on se demande si dans ces conditions, il est possible d'éviter les fuites d'eau lourde. Mais les Canadiens ont beaucoup d'expérience dans l'utilisation de l'eau lourde dans les réacteurs et ils ne semblent pas inquiets sur ce point. La possibilité d'obtenir de l'eau lourde à des prix bien au-dessous de ceux que l'on trouvait précédemment normaux, vient à l'appui de ce projet. La figure 3 montre la disposition du réacteur proposé.

La stabilité nucléaire physique du noyau est réalisable dans le système à eau lourde comme dans le réacteur à eau normale si le modérateur et le réfrigérant sont identiques. En examinant le problème, nous avons conclu qu'il valait mieux employer l'eau ordinaire en compensant la faible capacité d'économie de neutrons par l'enrichissement du combustible. Il se pourrait que dans un système à venir, cet enrichissement soit obtenu par emploi du sous-produit plutonium des réacteurs du type primitif. Choisir entre ces deux systèmes revient à décider s'il vaut mieux faire la dépense d'un modérateur et d'un réfrigérant de prix élevé ou utiliser un modérateur et un réfrigérant peu onéreux et acquérir du combustible de prix élevé.

Plusieurs projets envisageant l'utilisation d'eau

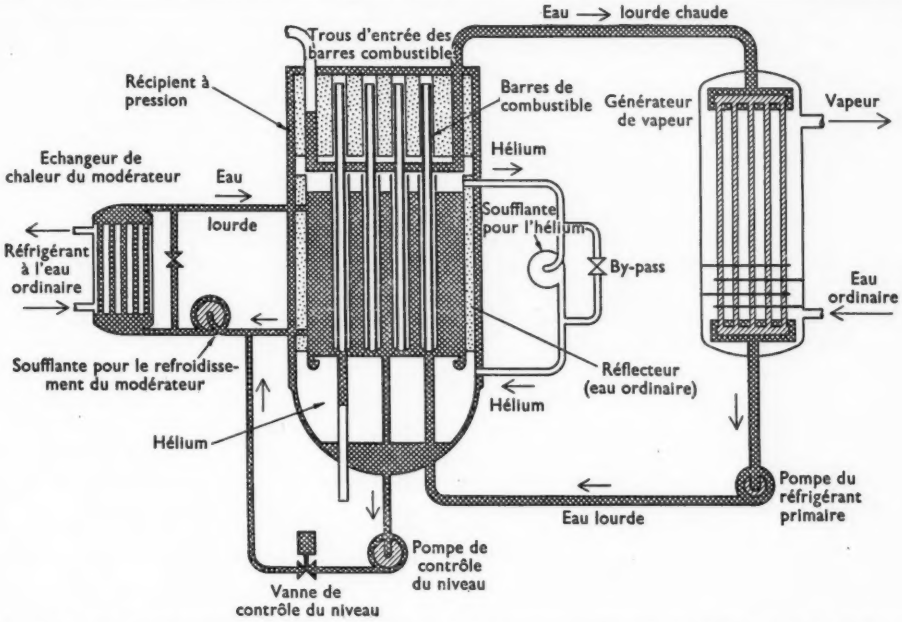


FIGURE 3 – *Schéma proposé pour un réacteur utilisant l'eau lourde comme modérateur et réfrigérant.* (*Dû à l'amabilité de Atomic Energy of Canada Ltd.*)

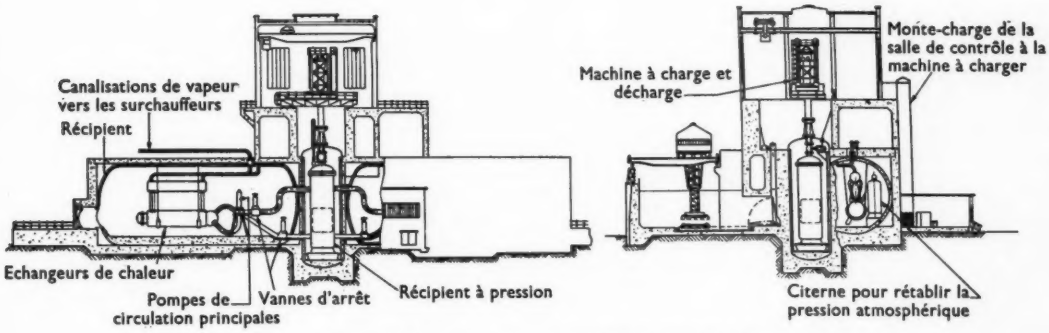


FIGURE 4 – *Essai de plan d'un réacteur modéré et refroidi à l'eau légère.*

ordinaire à la fois comme modérateur et réfrigérant ont été étudiés; l'un d'eux se trouve schématisé sur la figure 4. En admettant que l'on réussisse à construire et à mettre en marche un réacteur de ce type, il semble que le prix de revient de sa production électrique serait sensiblement plus élevé que dans le cas de notre actuel réacteur à graphite et gaz. Cela cependant ne doit pas nous décourager, car le système peut se perfectionner et atteindre de très grands débits, et les prix baisseront obligatoirement à mesure que l'on acquerra de l'expérience. L'inconvénient du projet présenté sur la figure 4, comme de tous ceux susceptibles d'être actuellement envisagés, est la nécessité de soumettre le modérateur à une pression de l'ordre de 100 kg/cm². Cela nécessite l'emploi d'un récipient épais à compression et les problèmes pratiques de la fabrication de ce récipient limitent les dimensions du réacteur. Aucun travail de recherche ultérieur ne semble en mesure de faire reculer ces limites. Il est possible d'atténuer un peu cette difficulté en imaginant un système dans lequel l'eau du modérateur puisse bouillir; cette question est à l'étude. Un inconvénient cependant subsiste: l'eau employée dans le modérateur doit être très pure et dans les conditions de température et de pression exigées une eau aussi parfaitement pure devient très

corrosive. L'uranium métallique est attaquable par l'eau à un tel degré que ce métal ne convient pas dans les réacteurs à eau; on utilise donc en général le bioxyde d'uranium.

C'est malgré ces difficultés ce réacteur à modérateur et réfrigération à eau qui est en faveur en Amérique. Sans doute, le travail de recherche sur ces installations prit cette orientation parce qu'à l'origine il y eut de gros efforts dépensés pour élaborer un système à l'usage des sous-marins. Cela exigeait un réacteur de débit supérieur à celui que peut actuellement permettre la réfrigération gazeuse et la difficulté de travailler dans de parfaites conditions de sécheresse exigées par l'emploi du sodium proscrivit l'emploi d'un métal liquide comme réfrigérant. Leur réacteur sous-marin à modération et réfrigération à eau fonctionne déjà depuis un certain temps et c'est de lui qu'ils se sont inspirés pour la conception d'un vaste réacteur terrestre en construction à Shippingport. Les chiffres publiés sur le prix de l'énergie produite par ce réacteur ne semblent pas aussi prometteurs que ceux de notre réacteur à réfrigération gazeuse.

L'emploi de métaux liquides comme réfrigérants, en conjonction avec l'eau ou l'eau lourde comme modérateur présente fort peu d'attrait, car il serait très difficile d'élaborer un système où l'on soit certain de ne pas être à la merci d'un défaut qui amènerait au contact l'eau et le métal liquide donnant ainsi lieu à une réaction chimique. Nous devons donc nous borner à des systèmes où l'on se sert du graphite comme modérateur, et comme réfrigérant d'eau ou de métal liquide. Un appareillage de ce type avec réfrigérant à eau vient d'être construit en Russie. Ce réacteur, dont les Russes ont révélé les détails à la Conférence de Genève sur les Applications Pacifiques de l'Energie Atomique est un petit prototype d'une capacité thermique totale de 30 MW où les éléments combustibles sont disposés verticalement dans des tubes d'acier inoxydable traversant le modérateur de graphite. Il ne ressort pas de façon évidente que l'on ait réalisé la stabilité nucléaire en augmentant en proportion l'épaisseur de l'anneau d'eau; en dehors de cette question, il semble que le plan du réacteur soit assez classique et, comme il est raisonnable pour un prototype, l'économie semble y avoir été subordonnée à la sécurité. Le système présente un inconvénient intrinsèque, c'est que les tubes à compression, en acier inoxydable, qui traversent le noyau doivent être d'une assez bonne épaisseur, ce qui nuit à l'économie en neutrons. Il est permis de douter que l'on puisse donner à ce modèle une extension qui permette de produire de l'énergie à large échelle à des prix qui, dans les conditions existantes, entreraient en concurrence.

Il nous reste le réacteur à modérateur graphitique et réfrigération au métal liquide, le sodium paraissant le meilleur pour cet usage. Il semble que ce réacteur ait l'inconvénient d'une instabilité nucléaire inhérente, mais il ne faut pas oublier que les conditions qui amèneraient le sodium à s'évaporer dans les conduites réfrigérantes ne doivent pas se produire. Il s'ensuit que si la construction mécanique du réacteur est telle que dans l'éventualité d'une défaillance, le circuit de sodium se viderait dans le noyau, la stabilité nucléaire devrait être assurée. Comme tous les systèmes pour réacteurs à grands débits que nous avons étudiés, à l'exception de celui qui emploie l'eau lourde, ce système exigera l'emploi de combustibles enrichis, mais son avantage est qu'en raison du point d'ébullition très élevé du sodium, il n'est pas nécessaire de soumettre le système réfrigérant à de fortes pressions. Les problèmes techniques relatifs à l'emploi du sodium liquide sont désormais au point.

RÉACTEURS RAPIDES

Nous nous sommes bornés jusqu'ici aux réacteurs thermiques, c'est-à-dire les réacteurs où la réaction en chaîne se maintient grâce au modérateur à l'intérieur duquel se trouve disposé le réseau du combustible. Si, au lieu de prendre un combustible fortement dilué dans un élément fertile (dans lequel l'absorption neutronique produit un nouveau matériau fissile), on utilise un combustible presque entièrement constitué de matériau fissile, le modérateur n'a évidemment plus de raison d'être. Dans de tels réacteurs, les neutrons ne sont pas ralentis; c'est la raison pour laquelle on les appelle réacteurs rapides. Ce type offre deux avantages essentiels: en premier lieu, même les modérateurs les meilleurs et les plus purs causent une absorption de neutrons inutile. Ensuite, si dans tout système de réacteur thermique, les neutrons capturés par le matériau fissile produisent en majorité une fission, il en est qui sont capturés sans en produire, si bien qu'il y a double perte, du neutron et d'un atome de matériau fissile. Dans un réacteur rapide chaque neutron à peu près venant frapper un atome fissile produit une fission. Ces réacteurs sont donc en principe aptes à une économie neutronique très supérieure à celle des réacteurs thermiques. Grâce à cette économie, il est possible de réaliser

une combinaison telle que le nombre de nouveaux atomes fissiles produits dans un matériau fissile qu'il est possible d'incorporer à l'ensemble, devienne supérieur à celui des atomes fissiles détruits. En fait, c'est en libérant de la chaleur qui peut servir à la production d'énergie électrique que nous engendrons du nouveau combustible. C'est pourquoi les réacteurs de ce type sont souvent nommés réacteurs générateurs. C'est une caractéristique qui rend très souhaitable le développement du réacteur à fission rapide dans le cadre du programme industriel.

Une autre raison rend ce développement nécessaire. Dans notre étude des réacteurs thermiques primaires à combustible uranium, nous avons souligné l'apparition du plutonium comme sous-produit; nous avons vu que pour réaliser une industrie nucléaire équilibrée, il fallait inventer des réacteurs où l'on puisse se servir de ce plutonium comme combustible. Cela peut s'effectuer dans une certaine mesure en brûlant le plutonium dans des réacteurs thermiques qui, pour être économiques, doivent avoir un débit assez élevé. Mais lorsque le plutonium est soumis à l'irradiation neutronique, certains atomes absorbent les neutrons pour former des isotopes dont les sections transversales pour l'absorption neutronique sont encore plus grandes. C'est pour cette raison que l'usage du plutonium dans un réacteur thermique ne peut permettre une substantielle économie de neutrons. La section transversale d'absorption du plutonium et de ses isotopes est bien plus réduite pour les neutrons rapides que pour les neutrons thermiques; le plutonium est donc plus adapté comme combustible pour réacteur rapide qu'il ne l'est pour le réacteur thermique.

L'*Atomic Energy Authority* du Royaume-Uni construit à l'heure actuelle un prototype de réacteur rapide à Dounreay, au nord de l'Ecosse. Il convient de noter qu'en considération de l'intérêt que ce système comportait à longue échéance, mais aussi des problèmes considérables qu'impliquait son développement, deux facteurs dont on prit très tôt conscience, le projet de Dounreay fut soumis avant même que fût entreprise la construction des réacteurs de Calder Hall.

La disposition du réacteur rapide de Dounreay est présenté sur la figure 5. En raison de l'insuffisance de la quantité de plutonium mise à la disposition des chercheurs, c'est d'U^{235} très concentré que l'on se servira comme combustible dans ce réacteur. Il sera néanmoins possible d'y introduire quelques éléments de plutonium afin de faire, tant sur son comportement physique nucléaire que métallurgique, des observations parallèlement aux autres essais de développements scientifiques et techniques menés sur le prototype. Les éléments combustibles sous forme de tubes d'uranium enrichi, dont chacun est contenu dans une gaine de construction très particulière sont disposés à l'intérieur d'un cylindre ayant environ 70 cm de diamètre et autant de longueur. De ce cylindre on veut obtenir un dégagement de chaleur de 60 MW: cela nécessite des vitesses de transfert allant jusqu'à $\frac{2}{3}$ kW par centimètre carré de combustible. Il est évident que pour réaliser pareille vitesse de transmission de chaleur, c'est un réfrigérant métal liquide qui s'impose. Afin de réduire les problèmes accessoires, on a choisi un alliage sodium-potassium dont le point de fusion est suffisamment bas pour que le métal reste liquide aux températures auxquelles le réacteur devra descendre lorsqu'il ne sera pas en fonctionnement. Ce petit noyau réacteur est environné de barres de matériau fertile où s'absorberont les neutrons en excès et où prendra naissance le combustible secondaire. C'est l'uranium qui servira au départ d'élément fertile, mais c'est l'un des avantages du réacteur rapide de nous donner accès au cycle du thorium. Soumis au bombardement neutronique, le thorium par absorption de neutrons et désintégration consécutive, donne un isotope fissile d'U^{233}. Cet isotope offre plusieurs avantages comme combustible secondaire: ses caractéristiques d'émission neutronique en réacteurs thermiques, sont meilleures que celles du plutonium et de U^{235}; et de plus, ses propriétés métallurgiques sont beaucoup plus favorables que celles du plutonium. Le thorium peut évidemment s'employer comme élément fertile dans tout réacteur où des neutrons restent disponibles à l'absorption, et il est possible de l'introduire dans des réacteurs thermiques lorsque les conditions sont telles qu'ils ont des neutrons en excès.

Le réacteur rapide et, de toute façon, tous les réacteurs à grand débit, soulèvent des problèmes de sécurité qui n'entraient pas en ligne de compte pour les réacteurs thermiques dont il a été question. Le dégagement de chaleur du noyau réacteur est extrêmement élevé, tandis que sa masse et sa capacité calorifique sont faibles. Il en résulte que s'il se produisait une interruption dans l'arrivée du réfrigérant, on pourrait s'attendre à ce que la chaleur émise par le combustible cause la fusion du noyau réacteur. A Dounreay, la première garantie est fournie par la multiplicité des circuits réfrigérants, chacun muni de sa pompe

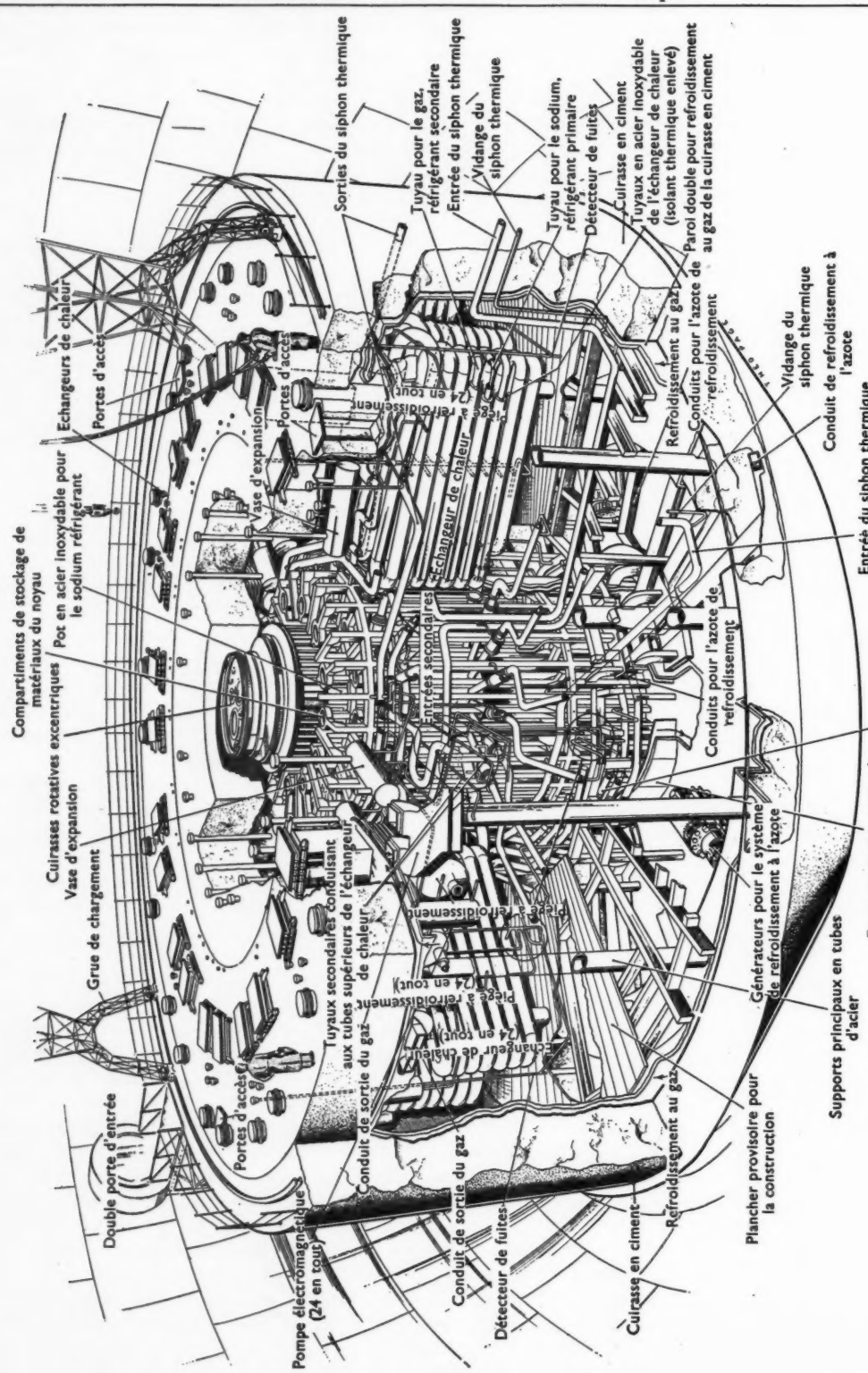


FIGURE 5 – *Disposition générale du réacteur rapide de Dounreay.* (*Dû à l'amabilité de* Nuclear Power.)

individuelle et fractionné en groupes indépendants avec une alimentation électrique distincte. Une catastrophe paraît donc inconcevable, mais si elle se produisait, il faut envisager l'éventualité encore plus improbable que, malgré l'isolement du métal liquide au moyen d'un gaz inerte, l'alliage sodium-potassium ne prenne feu et, en volatilisant les produits de fission du combustible, ne répande des produits radioactifs sur le pays avoisinant. Pour se prémunir contre ce danger, l'ensemble a été enfermé dans une sphère métallique de 45 m de diamètre d'une résistance suffisante pour soutenir la pression calculée de ces produits de combustion telle qu'elle serait dans le cas très improbable d'un tel accident.

Le réacteur rapide présente des problèmes extrêmement difficiles à résoudre, mais les plus complexes et les plus ardus sont de loin ceux qui se rapportent au combustible lui-même. Bien que dans la pratique industrielle l'on ait rarement besoin de débits calorifiques de $\frac{2}{3}$ kW par centimètre carré, ils ne sont cependant pas irréalisables. Mais dans un réacteur, la chaleur transportée depuis la surface provient d'une fission qui a lieu au sein de la masse métallique du combustible; et la conductibilité thermique de l'uranium n'est pas très élevée. Les différences de température au sein du combustible sont donc considérables. L'uranium a deux points de transformation allotropique, et le changement de volume au plus élevé de ces points est considérable; le traverser altérerait les caractéristiques physiques nucléaires du noyau à tel point que cela mettrait en question la stabilité du contrôle. A haute température, la vitesse de fluage de l'uranium est très grande; il faut donc que la gaine apporte un soutien au combustible. Mais c'est aussi un métal réactif et le choix des matériaux de la gaine est un problème complexe: leurs sections neutroniques transversales devront être assez faibles et leur conductibilité thermique suffisamment élevée; ils ne devront pas réagir chimiquement avec l'uranium aux températures qui se produiront dans le réacteur.

Pendant la durée de vie du combustible du noyau, une proportion assez élevée de ses atomes se trouveront détruits par fission; il est probable que si l'on veut faire fonctionner économiquement un réacteur rapide, il faut réaliser des combustions au moins égales à 1% avant que l'on ait à retirer l'élément du réacteur pour le nouveau traitement. Certains des produits de fission sont gazeux et capables d'amener des surpressions au sein du métal, tandis que la formation des autres tend fatalement à détruire la structure initiale en affaiblissant les matériaux. Il est donc sérieusement à craindre que le métal combustible lui-même ne se désintègre.

Le prototype qui fonctionnera à Dounreay en 1958 est conçu pour permettre d'étudier ces problèmes et certains autres. Il ne peut être un prototype de réacteurs rapides industriels. Avant d'en arriver là, il faudra après celui de Dounreay un autre réacteur pilote, et il paraît probable que les responsables de la distribution d'électricité ne seront en mesure de commander des modèles industriels que vers 1965.

Les problèmes de combustibles ne sont pas le propre des réacteurs rapides; il est même probablement exact de dire que pour n'importe quel type de réacteur, le rendement sera encore pendant de nombreuses années limité par le combustible. En outre, la fabrication et le gainage du combustible ainsi son traitement après irradiation sont des opérations onéreuses et complexes. C'est en vue d'éliminer ces problèmes soulevés par le combustible solide que l'on a eu l'idée de systèmes homogènes dans lesquels le combustible circulerait dans le noyau réacteur en solution ou en suspension. Le système dont le principe est le plus simple est sans doute celui où le combustible liquide est une solution de sulfate d'uranium dans l'eau lourde; on a construit un petit réacteur de ce type en Amérique. Il est assez séduisant, mais des problèmes encore plus nombreux que ceux du réacteur rapide restent ici en suspens. Si l'on veut qu'il soit économique et pratique, il faut que ce système fonctionne à des températures et des pressions très élevées, si bien que ce sont tous les problèmes de corrosion par l'eau des matériaux de construction qui vont apparaître. Il y a de plus destruction du combustible, à la fois chimique et nucléaire, ce qui introduit des impuretés dans le système, rendant encore plus complexe le problème de la corrosion. Certains des produits de la fission sont gazeux et il faut les éliminer. La figure 6 en présente un diagramme schématique. Il y a d'autres types de systèmes homogènes, dans lesquels le matériau fissile est sous forme d'un sel fondu, ou bien il se trouve en solution ou en suspension dans un métal liquide; aucun de ces systèmes n'évite les difficultés aiguës qui sont encore à surmonter.

En outre, les systèmes homogènes exigent automatiquement de la part des opérateurs beaucoup plus de compétence. Une usine installée avec des réacteurs du type de Calder Hall n'est pas plus difficile à diriger techniquement qu'une centrale électrique classique; elle présente même, en un

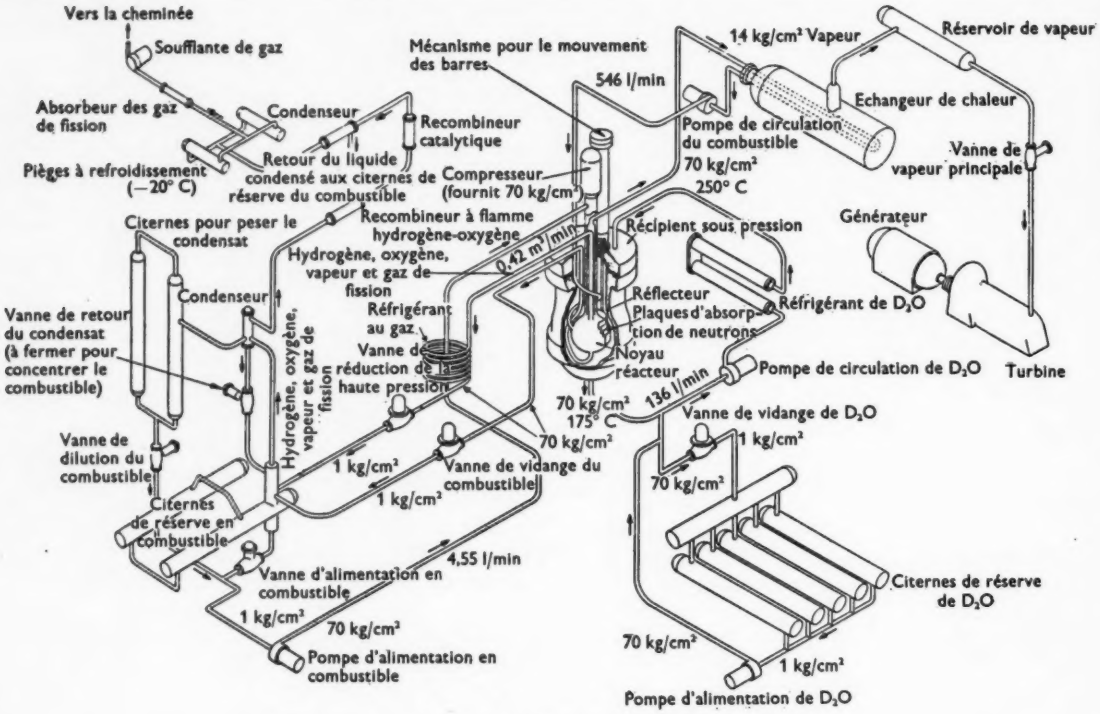


FIGURE 6 – *Schéma de fonctionnement d'un réacteur homogène.*

certain sens, moins de problèmes. La fabrication des éléments combustibles s'effectuera dans des usines spécialisées dans ces opérations et c'est l'élément fin prêt que l'on amènera sur les lieux de la centrale pour être introduit dans le réacteur. Le traitement chimique très spécialisé des éléments irradiés destinés au plan national industriel de production de l'énergie nucléaire s'accomplira dans deux ou trois usines chimiques situées de façon à permettre de décharger dans la mer tous les déchets radioactifs. Leur personnel se composera de chimistes et d'ingénieurs chimistes habitués aux travaux de ce genre. Pour que la marche d'un système homogène soit satisfaisante, il est à peu près certain que le traitement du combustible doit être permanent; chaque centrale devra donc contenir sa propre usine chimique où s'effectueront des opérations extrêmement spécialisées et produisant une quantité notable de déchets radioactifs. Alors que l'on a toute liberté dans le choix de l'emplacement des réacteurs à combustible solide, on s'aperçoit que le choix d'un site pour un réacteur homogène sera plus difficile; et l'on pourrait être amené à les installer uniquement près des côtes d'où les déchets puissent être déversés dans la mer à une distance appréciable de la terre. Chaque station aura besoin, de plus, d'un personnel capable de diriger des opérations chimiques complexes.

Bien que dans certains milieux initiés, l'enthousiasme soit grand pour le système homogène, et que les avantages qu'il y aurait à se débarrasser des problèmes attachés au combustible solide présentent beaucoup d'attrait, il paraît probable que les problèmes, non seulement de conception et de construction, mais aussi d'exploitation retarderont assez longtemps son emploi généralisé.

Tous les réacteurs examinés jusqu'ici au cours de cet article ont été envisagés au point de vue de leur utilisation dans les grandes stations terrestres, et c'est vers la solution de ces problèmes-là que s'est orientée jusqu'à présent la recherche en Grande-Bretagne. La raison principale réside dans le fait que ce dont on a le plus besoin ici, c'est de réacteurs qui permettront de faire face aux besoins en combustibles usuels, qui sont en train de dépasser la production. C'est dans le domaine du grand réacteur à terre que l'énergie atomique peut, à cet égard, apporter la meilleure contribution. Mais ce serait une erreur d'oublier

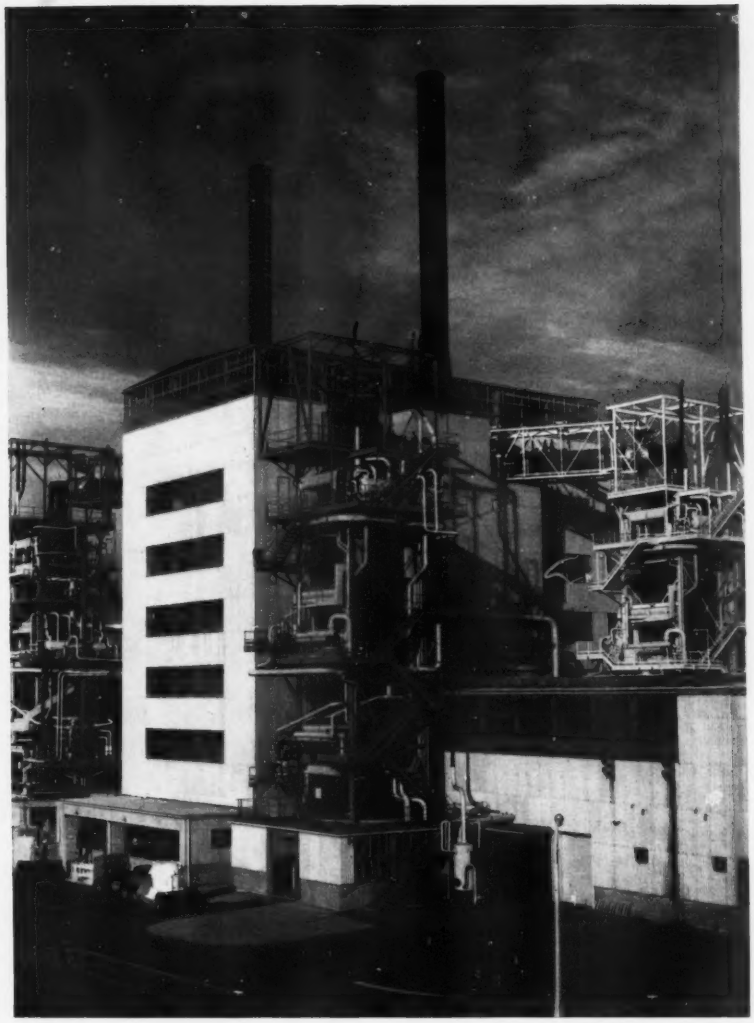


FIGURE 7 – *Vue générale du réacteur de Calder Hall.*

que, bien que les besoins nationaux soient moins aigus et le marché plus restreint, la demande existe aussi pour des réacteurs qui, au lieu de produire l'énergie électrique en quantité de l'ordre de 150 MW, peuvent en produire de 20 à 30 MW. Ce sont ces réacteurs qui sont nécessaires aux pays d'outre-mer peu développés; des réacteurs de cette dimension et même plus petits pourraient également être utilisables sur des bases mobiles, comme les navires à vapeur.

Il est fatal que le prix de revient de l'énergie provenant des petits réacteurs soit supérieur à celui des grands réacteurs terrestres. D'un autre côté, dans certaines applications très spécialisées, ces prix très élevés sont acceptables. Il est à peu près certain que dans ces petits réacteurs, l'uranium naturel ne peut être pris comme combustible que si l'on emploie l'eau lourde comme modérateur; si l'on prend le graphite, le béryllium ou l'eau ordinaire comme modérateur, l'emploi d'un combustible quelque peu enrichi semble inévitable. Nous avons déjà vu que pour l'application extrêmement spécialisée de la propulsion sousmarine, les Américains ont combiné un réacteur à la fois modéré et refroidi par l'eau ordinaire; il ne fait pas de doute que cette application inattendue est une très grande réussite. Les Anglais travaillent actuellement à un projet semblable. Il reste à savoir si le système peut être rendu plus simple et moins onéreux, de manière à le rendre utilisable, par exemple, sur les paquebots ou les petites installations au sol. Il existe un système que nous n'avons pas encore mentionné et qui pourrait convenir dans ce domaine: c'est l'eau lourde qui en est le modérateur, avec réfrigérant gazeux; c'est un système que les Russes ont étudié.

FUSION NUCLÉAIRE

Au-delà de toutes les possibilités dont il a été question dans cet article, se trouve encore le procédé de fusion nucléaire. Dans toutes les installations atomiques précédentes, la chaleur qui devient énergie électrique ou mécanique provient de la fission d'atomes situés au bas de la classification périodique. Mais il est possible de produire de la chaleur par fusion des éléments légers. Pour y parvenir, les atomes à combiner doivent être accélérés à des vitesses correspondant à des températures supérieures à 1 000 000°. Pour l'instant, les chercheurs n'ont qu'une très vague idée de la façon dont cela pourrait se réaliser à l'échelle industrielle.

La libération des spores chez les champignons supérieurs

par C. T. INGOLD

Le regretté professeur A. H. R. Buller a démontré aux mycologistes que le seul moyen de comprendre réellement l'étonnante variété de formes des champignons, était de les étudier en tant que mécanismes vivants assurant la production et la libération des spores. Cet article est une revue de travaux récents, principalement de ceux effectués sur deux espèces: un Basidiomycète et un Ascomycète, et démontre que les grands champignons sont remarquablement organisés pour la libération des spores.

Chez les champignons supérieurs (Ascomycètes et Basidiomycètes) la partie visible, le carpophore, est essentiellement un organe de production et de libération de spores. Le mycélium végétatif, des hyphes ramifiés, est normalement caché dans le substratum nutritif. En général, les spores des champignons supérieurs sont dispersées par le vent, mais on connaît des exceptions: les spores du satyre puant (*Phallus impudicus*) sont disséminées par les mouches, celles des truffes souterraines (*Tuber* spp.) par les Rongeurs et celles des magnifiques petits champignons du fumier (*Ascobolus*, *Sordaria*, *Coprinus*) le sont après traversée du tube digestif des Herbivores [1]. Il y a en général trois épisodes dans la dissémination des spores: la libération, la dispersion effective dans l'air et l'arrivée des spores sur le substrat. Nous n'étudierons ici que le premier épisode.

Lorsque les spores se trouvent dans l'air en mouvement, l'étude de leur dispersion est essentiellement d'ordre météorologique. En effet, étant donné leur petite taille (la plupart sont plus petites que les gouttelettes d'eau du brouillard), leur mouvement est déterminé par le comportement de la masse d'air dans laquelle elles sont incorporées. Il faut souligner que le premier stade de la dissémination ne comprend pas seulement la séparation des spores de l'organisme producteur, mais aussi leur lancement dans la masse d'air en mouvement pour que leur dispersion soit assurée.

Pour illustrer les problèmes relatifs à la libération des spores, nous allons étudier deux champignons communs en Grande Bretagne, un Basidiomycète (*Ganoderma applanatum*) et un Ascomycète (*Daldinia concentrica*).

Ganoderma appartient aux Hyménomycètes, le plus grand groupe des Basidiomycètes, caractérisés par leur surface productrice de spores (hyménium) nue à maturité. Dans la plupart des champignons charnus (Agaricacées) l'hyménium est formé de lamelles verticales, mais chez les Polyporacées, dont fait partie *Ganoderma*; l'hyménium est formé de tubes verticaux.

L'unité productrice de spores de l'hyménium est la baside, élément unicellulaire, au développement caractéristique, qui produit quatre basidiospores externes, placées sur de fins stérigmates. Ces basides microscopiques sont disposées perpendiculairement à la surface hyméniale et sont donc normalement horizontales. Chaque spore est suspendue asymétriquement à l'extrémité de son stérigmate; près de son point d'attache il y a une petite protubérance (hile). Juste avant la libération de la spore, une goutte de liquide qui grossit jusqu'à une taille bien déterminée, apparaît brusquement au hile et ensuite, la spore, entraînant la goutte avec elle, est projetée en avant. On appelle «ballistospores», les spores de champignons libérées de cette manière. Peu de temps après la libération d'une spore, une autre est projetée et ainsi de suite jusqu'à ce que les quatre soient libérées. La baside alors régresse lentement. Chez *Ganoderma*, la distance de projection est d'environ 0,005 cm[1]; chez les autres Hyménomycètes, elle est en général plus grande mais n'excède que rarement 0,02 cm.

Le mécanisme de la libération brusque des spores chez les Hyménomycètes n'est pas bien établi. A. H. R. Buller [2] considérait que la goutte se formait à faible distance du stérigmate et exsudait essentiellement de la spore: son illustration d'une libération chez le champignon gélatineux *Calocera* (figure 6) le montre nettement. D'autres auteurs pensent que la goutte exsude à la jonction de la spore avec le stérigmate. D. Müller [3] a cinématographié la projection des ballistospores chez *Sporobolomyces*. Il déclare que

[1] Détermination de l'auteur, non publiée.

FIGURE 1 – Ganoderma applanatum. *Carpophore sur un hêtre. Photographie du Dr Somerville Hastings.*

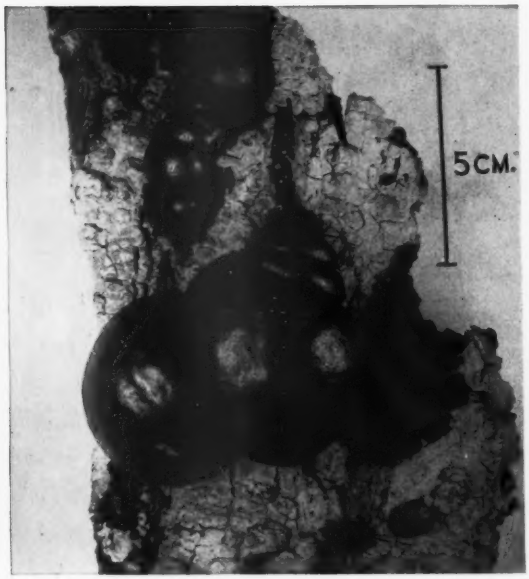


FIGURE 2 – Daldinia concentrica. *Stroma sur un frêne.*

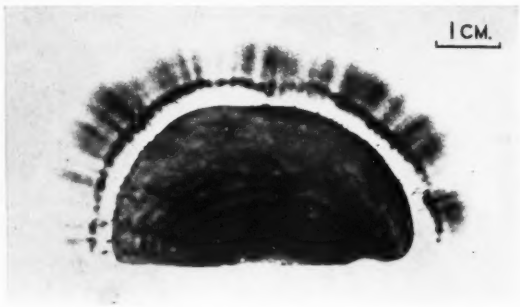


FIGURE 3 – Daldinia concentrica. *Dépôt noir de spores formé en une nuit autour d'une épaisse tranche de stroma posée horizontalement sur une lame de verre.*

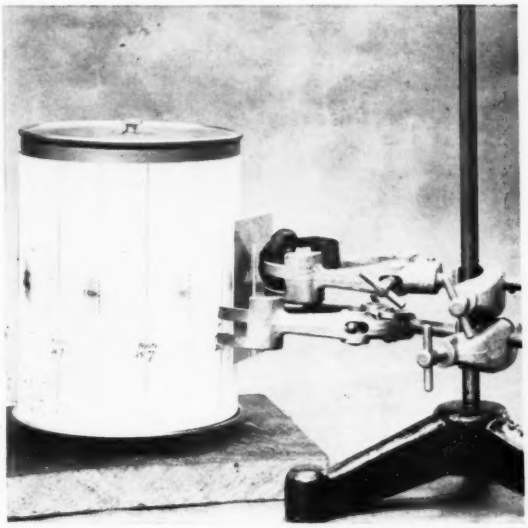


FIGURE 4 (*à droite*) – *Appareil pour étudier la projection des spores. Le stroma est maintenu par une pince; les spores sont lancées à travers une fente verticale d'un écran métallique et comme elles sont collantes, elles adhèrent au papier blanc du cylindre qui fait un tour par semaine.*

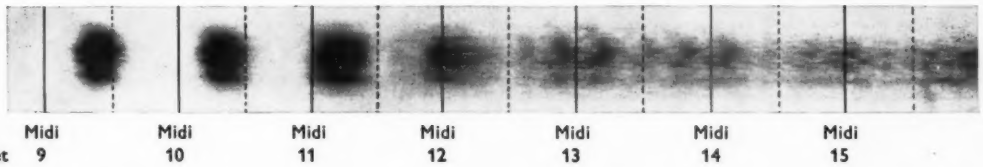


FIGURE 5 – *Traces de spores obtenues en utilisant l'appareil de la figure 4. Température et humidité étaient maintenues constantes (temp. 20,5–23°; taux hum., 92–94%) et le champignon était maintenu à l'obscurité. Le rythme nocturne de la projection des spores s'est néanmoins poursuivi plusieurs jours. Les lignes verticales pointillées indiquent les positions à minuit et les lignes en trait plein les positions à midi.*

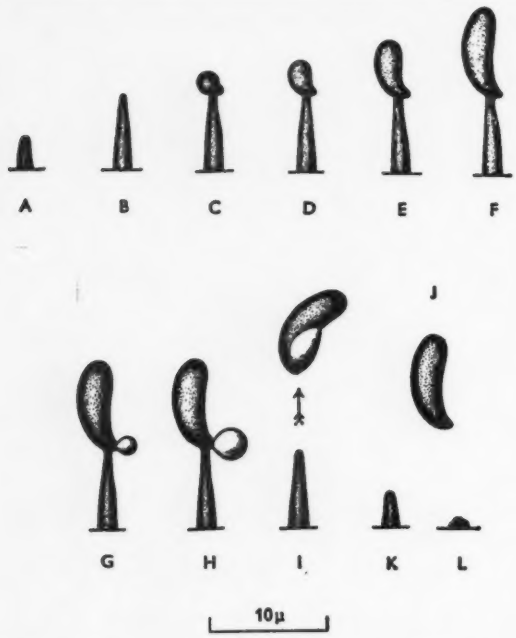


FIGURE 6 – Calocera cornea. *A–L: stades du développement de la basidiospore à l'extrémité du stérigmate et projection de la spore. D'après Buller* [2].

la goutte de liquide part seule parfois, la spore restant sur son stérigmate. D'après lui, il y aurait rupture du stérigmate gonflé, à sa jonction avec la spore, et donc formation d'une gouttelette qui entraîne ordinairement la spore avec elle. Selon une autre théorie, fortement étayée par les observations de A. E. Prince [4], il y aurait une membrane transversale séparant le stérigmate de la spore. Baside et spore sont toutes deux des cellules turgescentes et, à leur jonction, des tensions entrent en jeu: les extrémités du stérigmate et de la spore tendent toutes deux à se bomber. Ces tensions cessent brusquement et la spore est ainsi projetée loin du stérigmate. Ce type de projection est bien connu chez certains champignons inférieurs appartenant au genre *Entomophthora*. Mais un tel mécanisme ne met pas en jeu la goutte exsudée. On a aussi pensé [5] que la tension superficielle de la goutte pouvait intervenir dans la libération de la spore, mais les preuves de cette théorie sont bien faibles. On peut donc admettre que le problème de la libération de la spore à partir de la baside n'est pas encore résolu.

Ganoderma applanatum (figure 1) est l'un des rares champignons à carpophore persistant. Un seul spécimen peut rester en activité pendant cinq ans ou plus, augmentant, chaque été, le nombre de ses tubes. Le carpophore est une console semi-circulaire dure, ligneuse, de section verticale triangulaire (figure 7), largement et solidement rattachée à l'arbre: hêtre, frêne ou chêne. Elle peut atteindre 50 cm ou plus de large. Les tubes sont sur la face inférieure et ont une croissance géotropique. Ces tubes qui ont une «doublure» d'hyménium sont longs, souvent de plusieurs centimètres, et très étroits; leur diamètre intérieur a environ 0,01 cm seulement (figures 8–10). Cependant par suite de leur croissance géotropique et de la grande rigidité de la console, les tubes croissent en gardant une position rigoureusement verticale. Ils ne croissent qu'à la fin du printemps et en été; ils rentrent en repos durant les saisons froides. L'hyménium est actif non seulement dans les régions des tubes formées dans l'année, mais aussi dans celles qui ont deux ou trois ans. L'hyménium actif, avec les basides mûres, ne s'étend pas tout à fait jusqu'à l'orifice de chaque tube mais s'arrête à environ un demi-millimètre de lui. Dans cette région, qui comprend le bord libre en croissance du tube, l'hyménium n'est pas mûr.

Tous les ans, la libération des spores débute en mai et se poursuit jusqu'en septembre, et dans cette période la production est continue. On a calculé [2] qu'un grand spécimen libère continûment 20 millions de spores par minute, pendant les cinq ou six mois de son activité annuelle. La libération des spores de ce champignon a une caractéristique peu commune: elle se poursuit pendant les périodes de sécheresse même prolongées [6]. *Ganoderma* est vraiment un xérophyte:

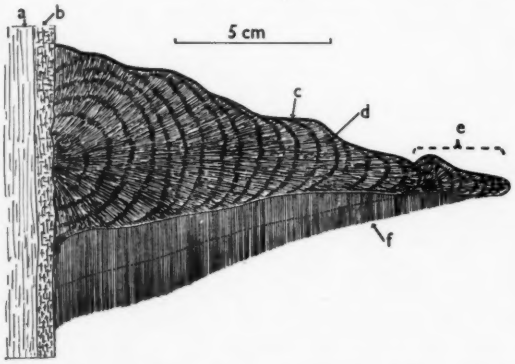


FIGURE 7 – Ganoderma applanatum. *Section verticale d'un petit carpophore poussant sur un frêne. a, bois; b, écorce du frêne; c, croûte supérieure du champignon; d, tissu du chapeau zoné et fibreux formé la première année; e, tissu du chapeau formé la deuxième année; f, tubes de l'hyménium (la ligne pointillée indique la limite entre les tubes formés la première année (en haut) et la deuxième année (en bas)).*

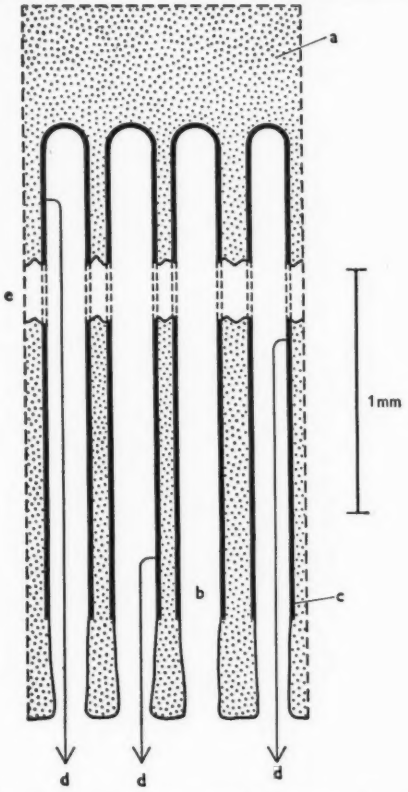


FIGURE 8 – Ganoderma applanatum. *Diagramme d'une section longitudinale des tubes hyméniaux. a, tissu du chapeau; b, tube hyménial; c, hyménium actif représenté par la ligne noire épaisse; d, trajectoire d'une spore projetée; e, interruption du diagramme correspondant à environ 20 mm de la grandeur naturelle du spécimen utilisé, ou 760 mm à l'échelle de la figure.*

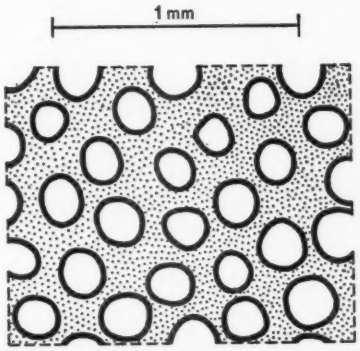


FIGURE 9 – Ganoderma applanatum. *Section transversale des tubes hyméniaux. La ligne noire épaisse autour de chaque pore est l'hyménium.*

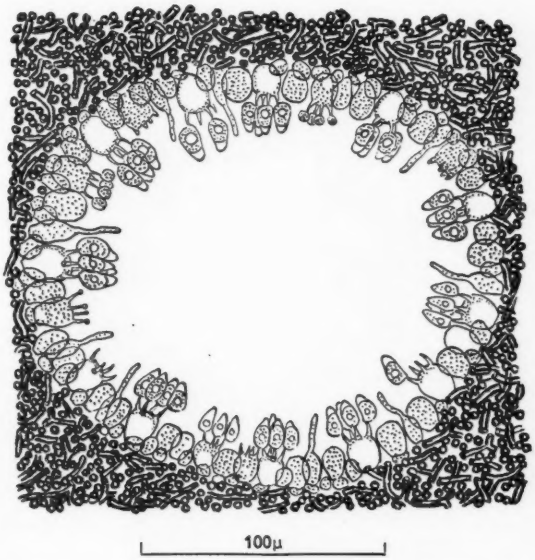


FIGURE 10 – Ganoderma applanatum. *Dessin d'un seul pore hyménial en section transversale. L'hyménium est formé surtout de basides aux parois fines, à différents stades de développement. Le reste du tissu est formé d'hyphes ramifiés à parois épaisses.*

ce xérophytisme est probablement dû à sa surface supérieure fortement laquée qui rend l'évaporation lente, et aussi à l'étroitesse des tubes de l'hyménium dans lesquels l'air peut rester presque saturé. Cependant ces faits seuls ne pourraient expliquer le xérophytisme. Il doit y avoir, à partir du tronc de l'arbre, un important apport d'eau du mycélium nutritif qui compense les pertes par évaporation. Nous pouvons noter en passant que notre ignorance de la conduction de l'eau et des matières nutritives est une des plus grandes lacunes de la physiologie des champignons.

Nous avons déjà vu que les tubes ont seulement 0,01 cm de diamètre et que les spores sont projetées à 0,005 cm, c'est-à-dire au milieu du tube, elles tombent alors dans l'air calme de l'intérieur du tube et émergent finalement, en dessous de la console, dans l'air en mouvement. Il faut noter qu'il n'y a ici aucune marge de sécurité; si les tubes n'étaient pas exactement verticaux, ce départ serait impossible: les spores sont collantes et si elles venaient à toucher la doublure du tube, elles s'y colleraient de façon définitive; or sur les coupes, on ne voit que fort rarement des spores ainsi échouées. Il est possible qu'une force quelconque maintienne les spores au milieu du tube pendant leur chute: il s'agit peut-être d'une force électrostatique.

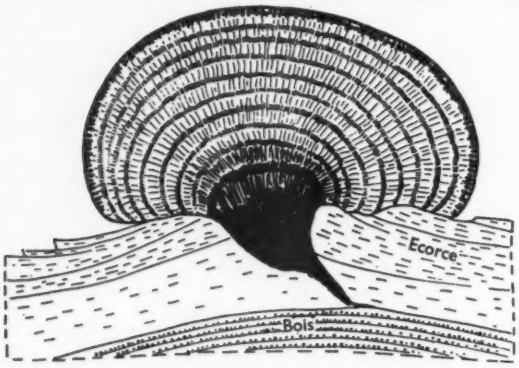
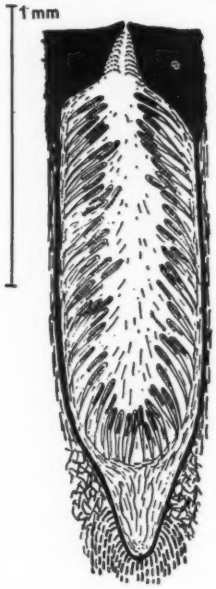


FIGURE 11 – Daldinia concentrica. *Section verticale d'un stroma sur un frêne. Les points noirs de la surface sont les périthèces.* (× 1,5)

Chez les champignons à chapeau et les autres champignons en console, la libération des spores se fait à peu près comme chez *Ganoderma applanatum*, mais celui-ci présente quelques caractéristiques tout à fait spéciales: sa longévité, contrastant avec la nature éphémère de presque tous les chapeaux, son xérophytisme, tout à fait particulier chez les Hyménomycètes qui sont incapables de supporter la sécheresse ou ne peuvent le faire qu'en passant à un état de vie ralentie; sa grande rigidité contrastant avec la consistance molle de tant de champignons.

Notre second exemple, un Ascomycète appartenant aux Pyrénomycètes, est *Daldinia concentrica* (figure 2), un champignon commun formant sur les troncs morts et les grandes branches desséchées des frênes, des coussins hémisphériques durs et noirs de plusieurs centimètres de diamètre. On le rencontre assez rarement sur d'autres arbres: le hêtre et le bouleau par exemple. Le mycélium végétatif situé dans le bois mort est vivace, mais les fructifications ne durent qu'une saison.

Sur une section verticale (figure 11), on voit que le stroma présente des zones concentriques, structure qui lui a valu son nom d'espèce. En examinant un spécimen durant sa période d'activité (mai à septembre), on voit de très nombreux périthèces inclus dans la dure croûte externe. Ils ont une forme de poire et s'ouvrent à l'extérieur par un étroit canal. A l'intérieur, tapissant les parois du périthèce, se trouvent de nombreuses asques à différents stades de développement (figure 12). L'asque est l'élément producteur de spores des Ascomycètes (figure 13): elle a un développement caractéristique et à maturité c'est une cellule vivante, turgescente, contenant en général huit ascospores. Les spores mûres de



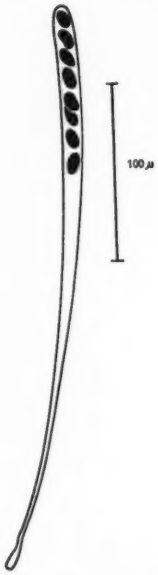


FIGURE 12 (*à gauche*) – Daldinia concentrica. *Section verticale d'un périthèce.*

FIGURE 13 (*à droite*) – Daldinia concentrica. *Une asque isolée.*

Daldinia sont toujours noires. Tout autour des asques, une sécrétion mucilagineuse remplit complètement le périthèce. Lors de la projection des spores, une seule asque s'allonge dans le canal du périthèce et quand son extrémité atteint l'extérieur, elle éclate et lance ses spores à une distance de 0,2 à 1,4 cm. Sitôt qu'une asque a fonctionné, une autre s'allonge dans le canal et ainsi de suite. Le mécanisme de fonctionnement des asques n'est pas mystérieux comme celui des basides. L'asque est une cellule turgescente qui éclate finalement au sommet, dans une zone de faiblesse, ce qui projette les spores dans l'air.

L'asque projette les spores avec beaucoup plus de force que la baside: la distance de projection des basidiospores varie de 0,005 à 0,1 cm. Cette distance, pour les asques, peut n'être que de 0,1 cm, mais en général elle est de l'ordre de 1 cm; on a même mesuré, chez *Dasyobolus immersus*, un jet horizontal de 60 cm. On peut observer facilement la performance de *Daldinia* en plaçant sur une lame de verre horizontale, pendant la nuit, une coupe médiane d'un stroma actif, de quelques millimètres d'épaisseur. Il se forme parallèlement au bord semé de périthèces de la coupe, un épais dépôt noir, formant une bande d'environ 1 cm de large, séparée du stroma par

une zone dépourvue de spores d'environ 0,2 cm de large (figure 3). Ce mode de projection des spores est facile à expliquer. Le contenu des asques peut former à la décharge un projectile relativement grand de huit spores ou bien se fragmenter en projectiles plus petits de quelques spores ou même d'une seule. Pour une vitesse initiale donnée, la distance (d) de projection horizontale est donnée par $d = Kr^2$, pour des projectiles microscopiques sphériques. K est une constante et r le rayon du projectile. Ainsi, pour une vitesse initiale donnée, les projectiles formés de huit spores doivent voyager beaucoup plus loin que ceux formés d'une seule spore. L'examen microscopique du dépôt de spores montre en effet que sur le bord externe, les spores sont en général groupées par huit, tandis que sur le bord interne les spores isolées prédominent [7]. La production de spores de *Daldinia*, comme celle de *Ganoderma*, est considérable: un seul stroma de taille moyenne peut libérer 100 000 000 de spores en une nuit.

On a déjà vu que le stroma ne durait qu'une seule saison: il se forme et atteint sa taille définitive durant la saison humide, mais toujours chaude, de septembre; les périthèces ne mûrissent qu'à la fin du printemps suivant. Une fois commencée, ordinairement au début de mai, la production des spores se poursuit jusqu'en septembre et, comme celle de *Ganoderma*, paraît indépendante de l'apport d'eau extérieur [8]. *Daldinia* paraît être un xérophyte du type des *Cactus*. Le tissu du stroma constitue une réserve d'eau dans laquelle les périthèces puisent, si bien que la projection des spores peut se faire même par temps les plus secs. Un stroma détaché d'un arbre au début de l'été, placé dans une pièce sèche, continue à projeter ses spores pendant plusieurs semaines. Son poids spécifique initial est 1,0, mais quand la sporulation cesse, il est inférieur à 0,3, le volume du stroma n'ayant guère changé. Quand il est attaché à l'arbre, il y a des preuves qu'à mesure que la réserve d'eau est utilisée, elle est reformée aux dépens de l'hôte [8]. L'indépendance de *Daldinia* vis-à-vis de l'eau extérieure semble être un cas unique: ce champignon est tout à fait différent des autres Pyrénomycètes qui ne peuvent libérer leurs spores qu'après les pluies.

Une autre caractéristique de *Daldinia* est la périodicité de la libération des spores; celle-ci est nocturne: la grande majorité des spores est projetée de 9 heures du soir à 9 heures du matin et fort peu entre 9 heures du matin et 9 heures du soir. Cette périodicité se rencontre chez plusieurs autres Pyrénomycètes, mais tous ne sont pas nocturnes. Par exemple [9] *Sordaria fimicola*, une espèce très commune sur le fumier, est diurne. Mais chez les Basidiomycètes la périodicité journalière de la projection n'existe pas.

La périodicité a été étudiée chez *Daldinia* [10]. Si un stroma est maintenu à l'obscurité et à température constante, la production des spores reste périodique pendant 4 à 10 jours (figures 4 et 5). S'il est éclairé en permanence, cette périodicité se maintient aussi, mais pendant un temps plus court. Dans les deux cas, obscurité continue et lumière continue, il y a ensuite libération constante de spores, mais sans périodicité nette. Si l'on revient aux conditions normales d'éclairement, la périodicité réapparaît immédiatement. Nous avons donc chez *Daldinia*, un exemple de rythme endogène qui se continue après suppression des conditions périodiques. Le Phycomycète coprophile, *Pilobolus* [11, 12], présente le même phénomène, mais chez *Sordaria fimicola* [9] il n'y a pas de rythme endogène.

Ganoderma applanatum et *Daldinia concentrica*, que nous avons choisis comme exemples de Basidiomycètes et d'Ascomycètes, sont donc deux types très différents qui produisent tous deux un grand nombre de spores. Ils représentent plutôt des cas exceptionnels, en particulier pour leur métabolisme de l'eau, mais ils montrent bien comment les grands champignons sont parfaitement organisés pour la dispersion des spores.

BIBLIOGRAPHIE

[1] INGOLD, C. T. «Dispersal in Fungi». Clarendon Press, Oxford. 1953.

[2] BULLER, A. H. R. «Researches on Fungi», Vols. I–VII. Longmans, Green & Co., Londres. 1909–50.

[3] MÜLLER, D. *Friesia*, **5**, 65, 1954.

[4] PRINCE, A. E. *Farlowia*, **1**, 79, 1943.

[5] INGOLD, C. T. «Spore Discharge in Land Plants». Clarendon Press, Oxford. 1939.

[6] *Idem. Trans. Brit. mycol. Soc.*, **37**, 97, 1954.

[7] *Idem. Ibid.*, **39**, 378, 1956.

[8] *Idem. Ibid.*, **29**, 43, 1946.

[9] INGOLD, C. T. et DRING, V. J. *Ann. Bot., Lond.* (Sous presse.)

[10] INGOLD, C. T. et COX, V. J. *Ann. Bot., Lond., N.S.*, **19**, 201, 1955.

[11] UEBELMESSER, E.-R. *Arch. Mikrobiol.*, **20**, 1, 1954.

[12] SCHMIDLE, A. *Ibid.*, **16**, 80, 1951.

L'alimentation en eau des végétaux

par J. P. HUDSON

La pratique de l'irrigation est si ancienne et les sommes dépensées actuellement à de nouveaux projets sont si vastes qu'il semblerait que les principes qui régissent l'alimentation des plantes en eau soient bien connus. En réalité, dans le cas de nombreuses récoltes, des questions apparemment simples, comme celle du moment optimum d'arrosage, sont encore sans réponse. Cet article examine quelques travaux récents dans ce domaine et souligne la nécessité de recherches expérimentales plus poussées pour tirer le meilleur parti possible des sommes consacrées aux travaux d'irrigation.

La capacité de croissance d'une plante est déterminée par l'hérédité et l'agriculteur est impuissant à l'accroître, mais, dans les limites fixées par la génétique, le rendement d'une culture quelconque dépend de ses réactions envers le milieu. Le milieu végétal est extrêmement complexe et est affecté, entre autres, par les intempéries, le terrain, les méthodes de culture, la proximité d'autres plantes et la survenance de maladies et de parasites. Le rendement est déterminé par l'influence combinée de tous ces facteurs sur la croissance, et la différence entre le rendement véritable et le rendement possible représente la mesure d'insuccès subie dans la lutte contre les facteurs en question.

On a peu de contrôle sur certains facteurs, la lumière et la température en particulier, et le fermier sait les risques qu'il court quand il décide la mise en culture devant donner les meilleurs résultats dans les conditions existantes. Mais d'autres facteurs sont plus faciles à diriger et il faut alors savoir deux choses: tout d'abord, à quel stade chaque facteur donnera vraisemblablement les meilleurs résultats et, deuxièmement, dans quelle mesure vaut-il la peine d'essayer d'atteindre ce stade?

Grâce à leur tolérance naturelle de conditions médiocres, on peut obtenir des récoltes satisfaisantes dans des conditions d'humidité qui sont loin d'être parfaites. Il est difficile au cultivateur d'évaluer la perte de rendement causée par des méthodes d'irrigation défectueuses, car il ne possède pas d'ordinaire de moyen de comparaison. Si les plantes étaient moins robustes et les terrains moins accommodants et si les récoltes périssaient dès l'apparition de conditions adverses, nous saurions peut-être mieux les cultiver. L'agriculture dépend en réalité de la résistance des plantes aux conditions adverses et pourtant c'est cette caractéristique même qui masque souvent des réactions de nature à nous indiquer le moyen d'améliorer nos méthodes de culture.

PRATIQUE DE L'IRRIGATION

En ce qui concerne l'eau, trois questions sont à résoudre: (1) Quand faut-il faire intervenir l'eau? (2) En quelle quantité? (3) Comment réduire au minimum l'action destructrice de l'eau sur le sol? La première est une question de physiologie végétale; la seconde est étroitement reliée aux conditions météorologiques et la troisième appartient au domaine de la science des sols et de l'art de l'ingénieur. Elles se suivent par ordre logique et peut-être d'importance relative pour le cultivateur, mais nos connaissances actuelles sont encore loin d'être organisées logiquement.

Les ingénieurs d'irrigation ont fourni d'admirables solutions à la troisième question. Les problèmes de la conservation de l'eau, de sa répartition et de l'arrosage du sol sont compris, et il existe des méthodes efficaces d'irrigation pour les besoins de la majorité des exploitations, à condition qu'on puisse les formuler avec précision. Les spécialistes en pédologie sont capables de décrire un sol en termes tels que vitesse d'infiltration, pouvoir rétenteur d'humidité et vitesse de circulation de l'eau, permettant de spécifier la meilleure méthode de répartition pour chaque sol-type.

Par le passé, la question de quantité était surtout résolue au hasard. Si les prévisions étaient inexactes et l'irrigation insuffisante, la croissance était retardée, le manque d'humidité dans le sol empêchant les racines de fonctionner normalement. D'autre part, l'excès d'eau causait soit l'embourbement du terrain avec des conséquences désastreuses soit, la perte de matières nutritives importantes, entraînées par l'eau inutilisée dans les canaux d'évacuation.

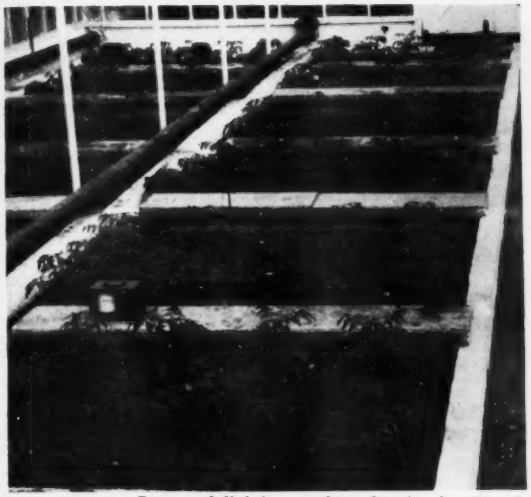


FIGURE 1 – *Serre subdivisée en plates-bandes bordées de briques pour les travaux expérimentaux sur les rapports des plants de tomates avec l'eau.*

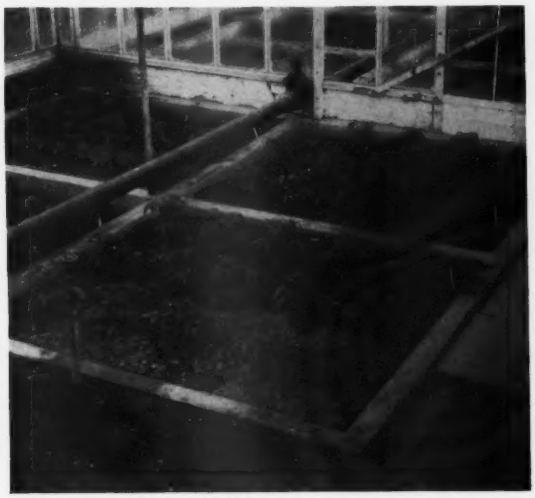


FIGURE 2 – *Quatre lysimètres à base et égouts en ciment aboutissant à une tranchée profonde à droite où l'on peut recueillir et mesurer l'eau d'évacuation de chaque plate-bande. Chacune est soumise à un régime d'eau différent durant la vie entière des plants, avec traitement souterrain dans chaque lysimètre au début de l'expérience.*

L'idéal dans chaque irrigation est de rendre au volume entier de sol occupé par les racines la quantité optimum d'humidité qui convient à la plante en cause. C'est ce qu'on entend d'ordinaire par «capacité du terrain», c'est-à-dire la quantité maximum d'eau qu'un sol bien drainé pourra retenir malgré l'action de la gravité.

En dépit de sa simplicité apparente, on n'a pas encore trouvé de solution satisfaisante au problème de la détermination au champ de la quantité d'eau à apporter, mais un point de vue nouveau a donné des résultats encourageants ces dernières années. On a montré [1] et [2] qu'il est possible de déduire le taux de déperdition d'humidité d'un sol de l'étude de certains renseignements météorologiques d'enregistrement aisé, tels que le nombre d'heures de soleil et le taux de précipitation, sans mesure directe de l'état exact d'humidité du sol. C'est un progrès énorme, car les observations météorologiques locales nécessaires sont aisées et on peut en tirer des renseignements utiles à fournir au cultivateur sur la déperdition d'eau de son propre sol et le conseiller sur les quantités d'eau à employer pour assurer l'humidification du sol sans perte aucune.

MOMENT OPTIMUM D'ARROSAGE

Il reste cependant à déterminer le moment optimum, connaissance essentielle au succès de l'irrigation.

Les végétaux souffrant de déshydratation avancée présentent divers symptômes visibles d'épuisement, dont le plus évident est la flétrissure des feuilles et des tiges molles. Mais la seule indication de danger, avant l'apparition de ces signes évidents, n'est souvent qu'un ralentissement de la croissance. Puisque ce retard de croissance est difficile à évaluer, cultivateurs et jardiniers estiment souvent qu'une plante d'apparence normale pousse normalement. Il semblerait donc qu'il n'y ait pas lieu d'irriguer jusqu'au dernier moment précédant la flétrissure; on évite ainsi les signes visibles de détérioration et le rendement est souvent satisfaisant. Des recherches expérimentales faites à l'Université de Californie [3] ont montré, en effet, qu'il est préférable d'attendre que presque toute l'eau du sol ait été absorbée avant d'irriguer. Cette opinion sanctionne un arrosage peu fréquent mais en doses importantes.

On a bonne raison de croire, d'autre part [4], que la croissance ralentit à mesure que se dessèche le sol, bien avant les premiers signes d'épuisement, ce qui prouve que le rendement aussi est influencé par le manque d'eau.

Les expériences pratiquées depuis cinq ans à Sutton Bonington [5, 6] font entrevoir une réconciliation possible entre ces deux opinions contradictoires en apparence, mais probablement justes dans des circonstances différentes. On a trouvé aussi que le même volume d'eau peut donner des rendements différents selon qu'il est divisé en

FIGURE 3 – *Plants de tomates déterrés à la fin de la période de croissance pour étudier les effets du régime d'eau sur la disposition des racines. Chaque fiche blanche sur la surface exposée marque la position de quatre racines. Remarquer les vacuomètres des indicateurs de tension installés pour mesurer les tensions d'humidité dans le sol.*

FIGURE 4 – *Plants de laitue poussant dans une plate-bande bordée de briques, soumis à un régime d'eau particulier. Les plants des coins ont été enlevés à sept jours d'intervalle pour comparer les rythmes de croissance selon le système d'irrigation.*

quelques arrosages volumineux ou en un grand nombre de plus petits. C'est une constatation des plus importantes.

Les divers degrés d'humidité du sol, constituant l'eau «disponible», se situent entre deux extrêmes pratiques mais assez mal définis, à savoir la capacité du terrain et le point de flétrissure permanente, ce dernier étant le point auquel les plantes périssent à moins d'être arrosées.

TENSION D'HUMIDITÉ DU SOL

On peut suivre le cours du prélèvement d'eau d'un sol en mesurant l'une ou l'autre des caractéristiques de l'humidité de ce sol [7]. Il est utile de mesurer la tension d'humidité du sol, étant donné qu'elle s'apparente aux forces qui s'opposent à l'absorption de l'eau par la plante. Une des méthodes pratiques d'évaluer la tension dans les terrains approchant saturation est d'installer des indicateurs de tension. Ceux-ci sont faits de pots de porcelaine poreuse enterrés à des profondeurs différentes et reliés à des vacuomètres ou manomètres, chaque instrument étant rempli d'eau. Il est présumé que l'eau qui se trouve dans l'appareil est en contact, à travers les pores de celui-ci, avec l'eau du réseau capillaire du sol. La tension de l'humidité restante augmente à mesure que le sol se dessèche et est enregistrée par l'indicateur de tension qui redescend quand se produit le remouillage (figure 5). Il existe d'autres méthodes pour enregistrer la tension dans les sols plus secs, où les instruments ci-dessus ne conviennent pas.

La connaissance essentielle du moment optimum d'arrosage pour la croissance ne peut être obtenu qu'au cours d'expériences sur des plantes similaires, soumises à des régimes d'arrosage différents, qu'on peut déterminer et reproduire exactement. On a mis au point des méthodes diverses pour faire cette étude; l'une d'elles, basée sur l'emploi des indicateurs de tension, donne des résultats satisfaisants depuis plusieurs années et a aidé à découvrir les rapports entre plusieurs espèces et leur alimentation en eau [8] (figures 1–4).

Dans chaque régime on fixe à l'avance une tension déterminée, au-delà de laquelle on ne permettra jamais au sol de se dessécher quelle que soit la profondeur. Cette tension étant maximum, il s'ensuit que la plus grande partie du sol conservera davantage d'humidité et que la proportion d'eau dans les régions renfermant peu de racines variera peu entre deux irrigations (figure 7). Un des aspects essentiels de la méthode est l'évaluation de l'effet des différents régimes d'arrosage sur la croissance ainsi que sur le rendement total, puisque celui-ci ne reflète pas assez fidèlement les variations dans l'effet de l'eau sur la croissance à divers stades du cycle vital.

A l'aide de ces techniques, il est possible d'étudier

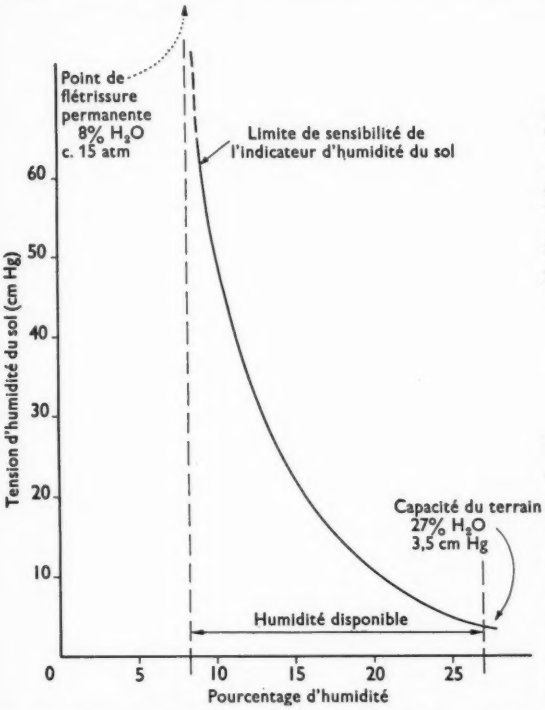


FIGURE 5 – *Courbe caractéristique de l'humidité du sol pour un terreau sableux grossier (Sutton Bonington).*

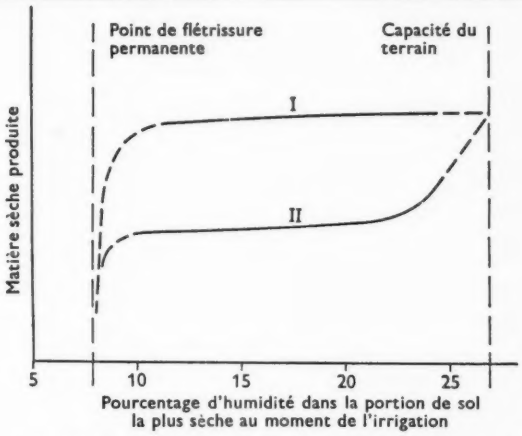


FIGURE 6 – *Courbes reliant la réaction apparente des plantes au degré de dessèchement permis dans la zone d'enracinement maximum (couche la plus sèche du sol) avant irrigation. Courbe I: durant la continuation de croissance des racines dans de nouvelles régions humides (laitue et tomates). Courbe II: quand toute la zone disponible est occupée (tomates).*

les rapports entre la croissance d'une plante et son alimentation en eau. Le cas le plus simple est celui de plantes annuelles semées sur place ou plantées très jeunes. Des expériences faites avec des plantules de laitues (*Lactuca sativa* Linn.) ou de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.), disposées en plates-bandes dans un sol d'humidité maximum, ont montré selon les prévisions que la zone autour de chaque plant commence à perdre son eau dès que les premières racines se mettent à «boire». Pendant ce temps, toutefois, les racines continuent à pousser, latéralement et horizontalement, et pénètrent dans des zones nouvelles d'humidité maximum. Autour de chaque racine se développe un système de poils absorbants qui lui permet d'extraire l'eau du cylindre de sol adjacent. La jeune plante acquiert ainsi un nombre croissant de racines capables d'atteindre de nouvelles sources d'humidité dès que le sol autour d'elle a perdu la majeure partie de son eau.

Durant cette phase du développement où les racines continuent à pénétrer profondément dans le sol humide, il semble que la croissance soit peu affectée par les fortes tensions d'humidité dans les couches supérieures du terrain. La table I donne les résultats d'une des expériences sur les laitues (A. M. Majmudar); des résultats similaires ont été obtenus avec de jeunes plants de tomates (P. J. Slater et A. E. Moorat). La seule condition essentielle pour la croissance parfaite de ces plantes semble être un contact partiel des racines avec de l'humidité à faible tension; peu importe que le reste des racines se trouve en sol beaucoup plus sec (figure 6). Les plantes réagissent faiblement à l'irrigation pendant cette phase.

Mais, au moment où tout le sol disponible est occupé par les racines d'une récolte annuelle, le rythme de croissance des racines ralentit probablement et la plante oriente ses ressources vers la formation de fruits et d'organes de réserve. A ce stade où peu de racines s'allongent rapidement, la plante peut réagir de façon toute différente au contact de l'humidité du sol. Des expériences sur les tomates en fructification (P. J. Salter) ont montré que non seulement la croissance végétative mais la formation des fruits ralentissent quand on permet à de fortes tensions d'humidité de se développer entre les irrigations. En effet, il est possible de retarder la croissance par des niveaux de tension qui ne l'influenceraient guère à un stade antérieur du cycle vital et, dans les plants de tomates adultes, il semble que la croissance et le rendement maxima ne puissent se produire que si l'on maintient le sol dans un état d'humidité constant, à la capacité du terrain pour ainsi dire, par des arrosages légers et fréquents (table II). Faisons remarquer que ce n'est pas le volume

TABLEAU I

Effets des différents régimes d'eau sur les laitues Cheshunt 5b

Caractéristiques d'irrigation			Poids frais moyen (grammes) par tête (48 plants)
Tension d'humidité maximum permise (cm Hg)	Nombre d'arrosages	Volume total d'eau employé (cc)	
5	5	4,2	193,0
9	4	5,4	192,5
20	2	3,8	194,5
60	0	néant	197,3

Les différences de rendement ne sont pas importantes.

TABLEAU II

Effets des différents régimes d'eau sur les tomates Ailsa Craig

Caractéristiques d'irrigation			Rendement moyen (kg) en fruits (50 plants)
Tension d'humidité maximum permise (cm Hg)	Nombre d'arrosages	Volume total d'eau employé (cc)	
7	88	42,2	4,7
15	11	46,3	3,9
30	9	45	3,6

Les différences de rendement sont importantes.

total d'eau qui importe, mais la fréquence des arrosages. Peu et souvent semble être la formule pour une croissance vigoureuse.

La situation est moins claire en ce qui concerne les plantes vivaces, car une plante de ce type a déjà peut-être un système de racines bien établi quand revient la belle saison, occupant la majorité du sol disponible. Dans ces cas-là, il existe peu de sol humide que les racines puissent explorer en quête d'eau et il se pourrait que les plantes réagissent plus fortement à l'augmentation de tension d'humidité, mais on n'a pas encore étudié à fond ce genre de relation.

TENSION GLOBALE SOL-HUMIDITÉ

Un autre aspect de la relation plante-humidité est intimement lié à la tension de cette humidité. La capacité d'extraction de l'eau du sol par une plante dépend de la «tension globale sol-humidité» [9], qui est la somme des forces entrant dans la tension d'humidité et de la pression osmotique de la solution du sol en question. Cette dernière, suivant la quantité de sels solubles dissous dans l'eau du terrain, est d'ordinaire négligeable dans les sols humides des zones pluvieuses où les sels sont facilement extraits du sol par l'action lixiviante de l'excès d'humidité s'écoulant naturellement. Elle peut cependant jouer un rôle important dans les régions à précipitations faibles, où les sels ne sont pas perdus comme ci-dessus, ou dans les sols non-salins que l'on laisse se dessécher. La quantité totale de sels solubles dans un sol ne varie pas à mesure qu'il se dessèche, mais la concentration de la solution augmente rapidement. Ainsi, les deux composantes de la tension globale sol-humidité (tension d'humidité et pression osmotique) s'accroissent vite dans un sol en voie de dessèchement.

Les sels ont tendance à s'accumuler dans les sols irrigués des régions arides, fait dont il faut tenir compte dans le choix des méthodes d'irrigation. La difficulté est surmontable, dans une certaine mesure, par le contrôle judicieux du moment

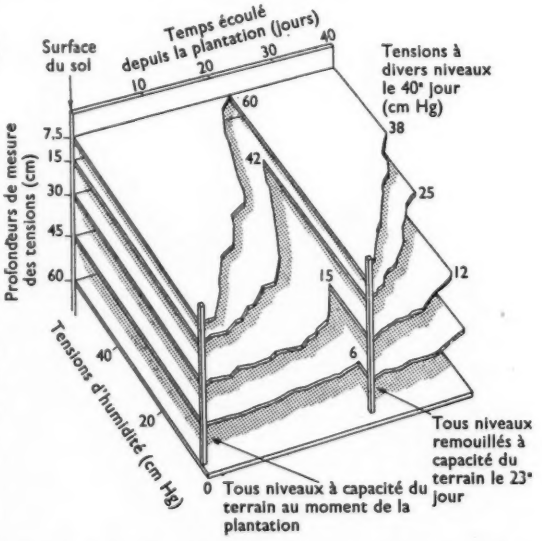


FIGURE 7 – *Modèle montrant les tensions d'humidité enregistrées à divers niveaux dans une section de sol progressivement occupée par les racines d'une culture de laitues plantées le premier jour et récoltées le quarantième. Peu de racines aux niveaux inférieurs.*

et du volume d'arrosage. Les résultats de travaux non publiés sur les tomates (D. W. T. Clay), par exemple, ont montré qu'il est possible d'obtenir des rendements normaux dans des sols renfermant une proportion incroyablement élevée de sels solubles, à condition de maintenir la tension d'humidité au même niveau faible par des arrosages fréquents et légers.

CONTRÔLE DE L'IRRIGATION

Peut-on utiliser ces connaissances de la relation entre les plantes et l'humidité du sol pour améliorer la production agricole mondiale? Des plans gigantesques sont en voie d'établissement pour assurer l'aménagement des fleuves et l'exploitation de nouvelles sources d'eau susceptible d'être distribuée rationnellement, mais s'il est impossible de répondre exactement aux trois questions posées au début de cet article pour chaque terrain individuellement, les disponibilités ne seront pas utilisées au mieux. Un arrosage trop hâtif, devançant les besoins de la plante, pourra entraver la croissance; trop abondant, il pourra causer l'inondation du terrain ou des pertes considérables dans l'évacuation du surplus; trop fréquent, il pourra abîmer sans nécessité la structure du sol. Par contre, l'absence d'eau au moment où la plante en a besoin gênera la croissance et le rendement, même si les signes de dessèchement ne sont pas apparents. Toutes ces fautes auront le même effet: la réduction du rendement par unité de volume d'eau. En dernier lieu, l'efficacité des plans les plus ingénieux d'aménagement des fleuves à grande échelle dépend finalement du régime de l'approvisionnement en eau du consommateur individuel, c'est-à-dire de la plante.

La répartition la plus effective repose uniquement sur la connaissance détaillée de la récolte en cause et de ses réactions à la tension d'humidité et à la pression osmotique, qui peuvent varier suivant le stade de développement du système de racines. On est assez déçu par une bonne partie des travaux de recherche sur l'irrigation, car les techniques à leur base sont incapables de mettre à jour le détail des relations dynamiques et complexes qui existent entre plante, sol, sels et humidité. D'excellents travaux ont été faits sur ces rapports dans le cas de certaines cultures, surtout celles qui, comme le coton et le sucre, ont grande importance dans le commerce international et possèdent des services de recherche bien organisés. On manque toutefois de connaissances sur beaucoup d'autres plantes de récoltes, particulièrement celles qui sont cultivées uniquement pour la consommation locale, même si elles constituent l'aliment principal du pays. On a certainement encore beaucoup à apprendre sur un grand nombre de cultures irriguées importantes pour arriver à la méthode la plus économique d'arrosage et permettre une meilleure distribution de l'eau d'irrigation.

De nombreux systèmes sont, naturellement, déjà très satisfaisants et de grand rapport, mais d'autres ne donnent pas les résultats correspondant à la dépense en eau. Le seul remède semble être l'expérimentation critique portant sur chaque récolte. Cette investigation confirmera sans doute l'efficacité de certaines méthodes d'irrigation, mais montrera peut-être que, dans d'autres cas, on pourrait obtenir de meilleurs rendements sans dépense supplémentaire en s'organisant différemment.

Un accroissement des travaux expérimentaux s'impose si l'on veut utiliser au mieux les ressources en eau dont on dispose et celles que libéreront les plans d'aménagement fluvial. Leur but doit être de montrer comment choisir, pour les distributions d'eau, le moment, le volume et la méthode optima, afin de mettre les plantes irriguées à même de contribuer le plus largement possible à l'alimentation du globe.

REMERCIEMENTS

Les travaux expérimentaux sur les plants de tomates et de laitues, mentionnés dans cet article, furent exécutés au Département d'Horticulture de l'Université de Nottingham par MM. P. J. Salter, A. M. Majmudar, D. W. T. Clay et A. E. Moorat, à qui il m'est agréable d'exprimer ici mes remerciements.

BIBLIOGRAPHIE

[1] PENMAN, H. L. *Proc. XIII Int. Hort. Congr.*, **2**, 913, 1953.
[2] HALKIAS, N. A., VEIHMEYER, F. J. et HENDRICKSON, A. H. *Hilgardia*, **24**, 207, 1955.
[3] VEIHMEYER, F. J. et HENDRICKSON, A. H. *Annu. Rev. Pl. Physiol.*, **1**, 285, 1950.
[4] RICHARDS, L. A. et WADLEIGH, C. H. «Soil Physical Conditions and Plant Growth». SHAW, B. T. (publié sous la direction de). Academic Press Inc., New-York. 1952.
[5] SALTER, P. J. *J. hort. Sci.*, **29**, 258, 1954.
[6] MAJMUDAR, A. M. *Univ. Nottingham Dep. Hort. Res. Rep.*, 1954.
[7] EASTWELL, B. A. *Tech. Rep. Brit. Elect. Ind. Res. Assoc.*, W/T 27, 1953.
[8] HUDSON, J. P., SALTER, P. J. et MAJMUDAR, A. M. *Proc. XIV Int. Hort. Congr.* (Sous presse.)
[9] WADLEIGH, C. H. et AYERS, A. D. *Plant Physiol.*, **20**, 106, 1945.

Les fondations moléculaires de l'hérédité

par W. G. OVEREND et A. R. PEACOCKE

Les acides nucléiques jouent un rôle essentiel dans les processus génétiques, et la recherche chimique est arrivée au stade où l'on peut proposer des formules générales de structure. On trouve ici une revue des progrès accomplis dans ces deux directions, qui aboutit à la conclusion que la structure moléculaire ne permet pas actuellement d'expliquer les faits de l'hérédité, mais que la faille qui sépare le niveau d'organisation moléculaire et le niveau cytologique n'est pas infranchissable.

On estime communément que les protéines sont les substances les plus importantes de la matière vivante, mais on sait à présent que les acides nucléiques doivent avoir au moins le même rang. C'est une combinaison d'expériences cytologiques, chimiques et génétiques qui a fait reconnaître l'importance des acides nucléiques dans les processus de l'hérédité [1].

LES ACIDES NUCLÉIQUES ET L'HÉRÉDITÉ

La localisation de l'acide désoxyribonucléique (ADN) appuie l'idée qu'il est un principe génétique actif: des expériences cytochimiques ont démontré que l'ADN est situé dans les chromosomes, structures cellulaires qui portent les gènes. On reconnaît que les chromosomes ont encore d'autres constituants, notamment des histones et d'autres protéines, mais ceci n'infirme en rien l'hypothèse précédente. Des mesures cytochimiques quantitatives de la répartition de l'ADN renforcent l'idée qu'il doit avoir un rôle génique. Il a été prouvé [2] que chez une même espèce, la quantité d'ADN est pratiquement constante dans les noyaux somatiques diploïdes de divers tissus, à l'exception des gamètes (haploïdes) qui en contiennent deux fois moins. Les diverses protéines du noyau ne semblent pas avoir la quantité à laquelle on s'attend dans du matériau génique.

La découverte du phénomène biologique de la «transformation» et de la nature des principes de la transformation a donné à la chimie sa première occasion d'aborder le principe de l'hérédité. La découverte initiale attira peu d'attention; en 1928 F. Griffith [3] rapporta le résultat suivant. De souris inoculées de pneumocoques vivants non-encapsulés rêches (R) mélangés de variants encapsulés lisses (S) tués à la chaleur il parvint à extraire des pneumocoques vivants (S). Le nouveau trait (production d'une capsule de type spécifique), s'étant établi, fut conservé et reproduit chez les générations suivantes, comme si un gène nouveau s'était incorporé à l'équipement génétique des cellules réceptrices. Les cellules transformées, tuées à la chaleur, pouvaient induire la transformation de cellules R tout comme les cellules S originales. On put convertir ainsi une race de pneumocoque rêche, dont on n'avait jamais observé la transformation ou mutation spontanée en type lisse ni en aucun autre type. Bien que d'autres chercheurs aient confirmé ces résultats, des doutes persistèrent. Il fut suggéré que les préparations apparemment tuées à la chaleur contenaient quelques formes bactériennes résistant à la chaleur; qu'il s'agirait donc plutôt d'un réveil des cellules S que d'une transformation de cellules R. Par la suite la transformation fut démontrée *in vitro* et l'on découvrit peu après que la présence d'une cellule intacte de donneur S n'était pas indispensable. La transformation de R en S fut opérée au moyen d'un extrait aqueux de cellules S tuées à la chaleur: on filtra les extraits dans des filtres bactériens avant de faire l'essai de l'activité de transformation. On ne pouvait écarter la possibilité qu'un virus filtrant fût l'agent responsable; mais en 1944, O. T. Avery et ses collaborateurs [4] purifièrent l'extrait et trouvèrent que le principe actif de la «transformation» avait toutes les propriétés d'un acide ADN fortement polymérisé. Cette conclusion se basait sur l'analyse élémentaire, des essais chimiques, l'examen sérologique et l'observation que de toutes les enzymes examinées seule la désoxyribonucléase était capable de détruire son activité biologique. Quand on chauffe le principe actif, l'activité biologique commence à décroître à la température (81° pendant 1 heure) à laquelle la viscosité de la préparation diminue. Ce comportement à l'égard de la chaleur est caractéristique des acides nucléiques, mais la plupart des protéines connues ne peuvent supporter un tel traitement. Le *p*H, tant acide que basique, où l'activité de transformation

commence à baisser est le même auquel la viscosité de l'ADN se met à décroître. Enfin, on peut actuellement purifier l'agent inducteur de transformation jusqu'au stade où la protéine peut être considérée comme absente au point de vue purement analytique. Tous ces résultats (pour le rapport complet voir [5]) indiquent que le principe actif de la transformation est l'ADN et jamais une seule preuve concluante du contraire n'a été présentée.[1] On a découvert depuis lors qu'en plus de la formation de capsules plusieurs autres caractères des pneumocoques sont transformables. On n'a rencontré de transformations reproductibles que chez les bactéries.

Il est intéressant de se demander si de l'ADN préparé au moyen de nombreuses cellules soit-disant identiques représente une espèce chimique unique ou un mélange. Bien qu'un donneur soit capable de transformer plusieurs traits d'une race réceptrice, en général chaque cellule transformée n'a qu'un seul de ses traits modifié à chaque transformation. La préparation du principe actif se comporte donc comme un mélange de particules transformatrices. Les cellules à deux modifications sont aussi rares que les cas où deux particules indépendantes pénètrent dans la même cellule. On en déduit que les diverses molécules sont marquées en quelque sorte: ainsi que nous le verrons bientôt, la structure de l'ADN est suffisamment pliable pour justifier cette hypothèse.

Les recherches sur l'infection d'*E. coli* par des bactériophages T ont donné des résultats particulièrement intéressants sur la production de formes spécifiques nouvelles d'ADN dans une cellule déjà organisée pour la biosynthèse de son ADN propre; nous voyons ici un indice nouveau de l'importance génétique de cet acide nucléique. Les coliphages T qui lysent l'hôte d'*E. coli* se composent principalement de protéines (60% env.), d'ADN (40% env.) et d'un peu de lipides. Apparemment l'ADN et la protéine ne sont pas unies par une liaison chimique: le gros de la protéine forme une membrane emprisonnant une masse d'ADN libre ou faiblement combiné. Bien qu'on n'ait pas là un signalement complet de la structure du phage T on y distinguera séparément les fonctions de la protéine et de l'ADN. Si l'on ajoute du coliphage à des cellules d'*E. coli* dans un milieu approprié, les particules de phage sont adsorbées rapidement aux bactéries. L'adsorption devient bientôt irréversible et la bactérie est tuée. Après une phase de latence la cellule se lyse et produit un dégagement considérable de particules nouvelles de phage. Il a été démontré [6] que l'ADN joue un rôle central dans ce processus, en établissant, à l'aide de traceurs isotopiques, que l'ADN de deux autres phages infectants (T_2 et T_6) pénètre dans la cellule infectée tandis que la protéine reste à l'extérieur.

L'ADN du phage serait donc à même de propager l'infection et la protéine ne serait plus nécessaire après l'introduction de l'ADN dans la cellule de l'hôte. Au cours des étapes suivantes de la reproduction du phage la cellule infectée opère la synthèse d'une grande quantité de membranes protéiques et d'ADN du phage. Ce sont là des matériaux macromoléculaires spécifiques qui diffèrent de tous les constituants de la cellule non-infectée. On suppose généralement que de tels matériaux spécifiques d'espèce sont produits sous l'influence de déterminants génétiques spécifiques, en l'occurrence l'ADN du phage. Bien qu'on n'ait pas encore déchiffré ces processus biochimiques de façon détaillée, il semble d'ores et déjà que l'ADN du coliphage T infectant règle le métabolisme de l'acide nucléique et de la protéine de l'hôte comme s'il était une entité génétique dominant les gènes de celui-ci.

Dans l'état actuel de nos connaissances il serait prématuré de conclure, à partir d'observations de ce genre, que seul l'ADN des chromosomes est le dépositaire des déterminants génétiques des organismes supérieurs; il y a des raisons de croire que d'autres facteurs sont impliqués. Néanmoins certaines observations nous poussent à revêtir l'ADN de propriétés génétiques *in vivo*; à cet égard nous mentionnerons l'exemple suivant. Des cellules de champignons et de blé furent irradiées à l'ultraviolet: on trouva que le meilleur rendement de mutations géniques se situait à la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption d'ultraviolet par l'ADN. L'effet de certains agents mutagéniques tels que les gaz moutardes à l'azote et au soufre permet d'entrevoir quelque peu la nature chimique des gènes. Les acides nucléiques y sont fort sensibles; de même les rayons X ont un effet disruptif sur l'ADN.

L'acide nucléique naturel se présente sous deux types, l'acide désoxyribonucléique (ADN) et l'acide ribonucléique (ARN). Jusqu'ici nous nous

[1] Pour que la transformation des pneumocoques réussisse le principe actif doit s'accompagner d'autres facteurs. Ces agents sont censés créer un changement temporaire, de nature inconnue, dit «sensibilisation» des cellules réceptrices. Pour les transformations de *Haemophilus influenzae* et de *Neisseria meningitides* toutefois, on n'a pu invoquer de facteurs additionnels (hormis ceux qui sont dans le milieu), et il ne semblerait donc pas que ces facteurs soient impliqués au premier chef.

sommes limités à l'ADN mais les recherches sur l'ARN aussi sont importantes. Nous devrons toutefois nous borner à n'en citer que quelques résultats concernant la multiplication des virus. Les virus végétaux et animaux sont des nucléoprotéines, au même titre que d'autres unités capables soit de se reproduire soit de fabriquer des protéines. Les virus animaux peuvent détenir l'ARN ou l'ADN ou les deux à la fois, ceux de plantes par contre, n'ont que l'ARN. La teneur en ARN va de 6% pour le virus de la mosaïque du tabac à 35% pour le virus de la mosaïque jaune du navet. Le fait que des substances ayant la simplicité des ribonucléoprotéines sont capables de se reproduire et sont donc pourvues de continuité génétique est de la plus haute importance. D'autre part, des recherches [7] sur le virus de la mosaïque jaune du navet ont permis de conclure que l'acide nucléique est en réalité l'agent qui dirige la multiplication du virus. Des expériences avec le virus de la mosaïque du tabac prouvèrent en premier lieu que l'on peut modifier la nature chimique de la protéine sans altérer l'activité du virus, puisqu'on peut enlever une partie de la protéine sans supprimer l'activité. Il a été reconnu tout récemment [8] qu'après élimination complète de la protéine de la nucléoprotéine du virus, l'ARN reste encore contagieux et semble conserver le génotype.

Il ressort des nombreux mémoires publiés que l'ARN joue un rôle prépondérant dans la synthèse des protéines des cellules de tout genre. On est mal renseigné sur le rapport exact entre l'ADN du noyau, qui reste relativement constant, et l'ARN cytoplasmique, qui semble intervenir de façon plus directe dans la synthèse protéique. On a soutenu récemment [9] qu'on avait pu prouver directement que l'ARN cytoplasmique ou son précurseur est élaboré dans le noyau et transmis au cytoplasme.

STRUCTURE DES ACIDES NUCLÉIQUES

On est arrivé à la composition des acides nucléiques en examinant des hydrolysats tant chimiques qu'enzymatiques. Les étapes successives de la dégradation seraient dans l'ordre:

Acide nucléique → nucléotides simples
→ nucléosides + acide phosphorique
→ bases à purine et pyrimidine + sucre

Les bases puriques tirées de l'ADN sont l'adénine (I) et la guanine (II) et les bases pyrimidiques sont la cytosine (III) et la thymine (IV). Les échantillons d'ADN contiennent parfois des traces de méthyl-5-cytosine mais c'est peu fréquent, tout comme la présence d'hydroxyméthyl-5-cytosine. Le sucre est le désoxy-2-d-ribose (V)[1] sous sa forme furannique (cycle à 5 atomes). Les bases sont unies au sucre par une liaison glycosidique en C(1′) et la liaison est du type β. Elle a lieu à la position 9 des bases puriques et 3 des pyrimidines. Les chaînons sucre-base s'appellent nucléosides. Les nucléotides simples isolés de l'ADN sont des nucléosides estérifiés par l'acide phosphorique au groupe hydroxyle primaire C(5′) dans la moitié sucre. L'hydrolyse acide de l'ADN livre des diphosphate-3′:5′-nucléosides pyrimidiques, ce qui indique la participation de la position C(3′) du sucre dans la molécule d'acide nucléique. La formule de l'ADN qui explique, au mieux, tous les faits connus est une chaîne polynucléotide linéaire non-ramifiée (VI, abrégée en VII) ayant la liaison internucléotidique 3′:5′, récurrente, donnant une molécule de poids moléculaire fort élevé (5–8 millions).

La structure pose deux problèmes supplémentaires: l'ordre des bases le long de la chaîne polynucléotide et la quantité de chaque base dans l'acide nucléique; les réponses aux deux pourraient avoir une portée décisive en génétique. L'identification des bases vient à peine de commencer mais on est bien mieux renseigné sur la composition brute des bases des diverses formes d'ADN.

Au début on pensait que les bases étaient présentes en quantités équivalentes mais des analyses méticuleuses ont prouvé qu'il n'en est rien. Les rapports suivants émergent de cette recherche:

(*a*) on reconnaît deux types d'ADN, le type AT où la teneur en adénine-thymine dépasse celle en guanine-cytosine, et le type GC qui se présente surtout chez les micro-organismes où l'inverse est vrai.

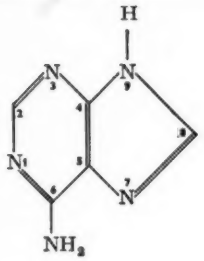
(*b*) la somme des nucléotides puriques est égale à la somme des nucléotides pyrimidiques.

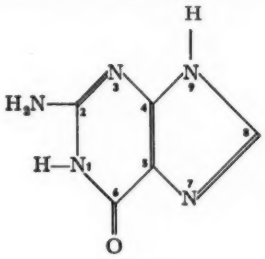
(*c*) la proportion moléculaire de l'adénine à la thymine vaut 1, tout comme celle de la guanine à la cytosine (si l'ADN contient la méthyl-5-cytosine le rapport moléculaire de la guanine à la somme de la cytosine et son dérivé méthyl-5 vaut 1).

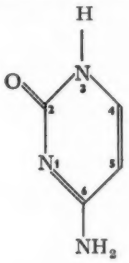
(*d*) le nombre des groupes amino-6 est égal à celui des groupes céto-6.

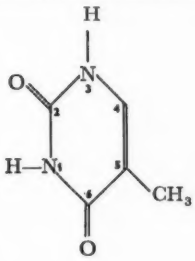
Le sens de ces rapports s'éclaire quand on les examine à la lumière des élégantes études aux

[1] Le signe prime indique que ces atomes de carbone du sucre sont unis à un cycle de purine ou de pyrimidine: la numérotation se voit dans les formules de (I) à (IV).

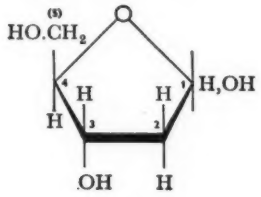

I

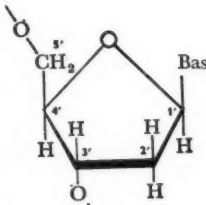

II

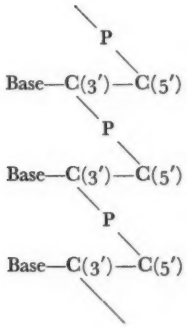

III

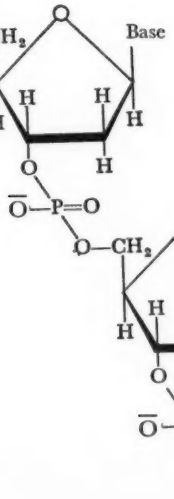

IV

rayons X de M. H. F. Wilkins, A. R. Stokes et H. E. Wilson [10]. L'ADN d'une variété de sources comme le thymus de veau, l'*E. coli* et le sarcome de souris donne des spectres aux rayons X indiquant qu'ils sont tous bâtis sur le même plan. En se basant sur le postulat de paires de bases spécifiques on a élaboré un modèle d'ADN qui embrasse les preuves chimiques qui s'accorde en grandes lignes avec les données des rayons X [10, 11]. En bref, on suppose que l'unité de structure de l'ADN comprend deux chaînes de polynucléotides, enroulées en spirale autour du même axe mais en sens opposé. La molécule hélicoïdale d'acide nucléique solide a deux configurations principales: la structure (A) très comprimée et hautement cristallisée, et la structure (B), une hélice plus allongée qui est souvent paracristalline. Nous ne nous occuperons que de la forme (B). Le pas de l'hélice a 34 Å et il y a 10 résidus polynucléotides par tour et par fibre. Les deux chaînes de phosphate de sucre suivent chacune une hélice droite et sont réunies par des ponts à hydrogène à leurs résidus basiques pour donner une hélice double de 18 Å de diamètre. La figure VIII en donne un schéma tandis que la figure I est une photographie d'un modèle construit au King's College de Londres. Il est abondamment prouvé [12] que cette double hélice persiste tant que la teneur en eau de l'ADN augmente jusqu'à ce qu'il soit dissous. Comme les groupes phosphatés sont à l'extérieur des hélices les cations y accèdent facilement; les purines et les pyrimidines, par contre, sont situées à l'intérieur et perpendiculairement à l'axe long. Un trait nouveau de la structure est le postulat d'accouplement spécifique de bases. L'examen des modèles suggère que seules des paires d'adénine-thymine et de guanine-cytosine peuvent se joindre tout en s'intégrant dans la structure; cette conclusion est renforcée par les données analytiques citées plus haut. Les liaisons à hydrogène donnent les structures (IX) et (X). L'accouplement des bases rend bien compte des proportions observées tout en permettant la variation dans la composition de base trouvées par l'expérience. On remarquera que dans cette structure les brins sont complémentaires puisque la séquence nucléotide d'un brin se fixe automatiquement à celle de l'autre. Par le découverte


V




VII


VI

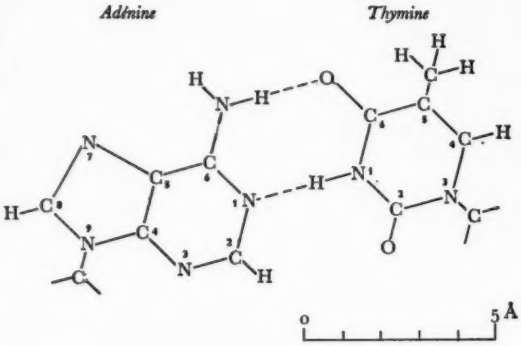
importante du fractionnement de l'ADN on a démontré que les molécules de l'ADN d'une espèce présentent des différences vérifiables non seulement de taille mais aussi dans les proportions des purines et des pyrimidines individuelles. Les compositions de préparations complètes d'ADN rapportées dans la littérature sont donc des moyennes et non celles des molécules individuelles: ceci vient à l'appui de l'hypothèse que l'ADN de chaque cellule se compose d'un grand nombre de molécules différentes dont chacune détermine des caractères héréditaires distincts.

Le sucre de l'ARN est le d-ribose (XI est la forme furannique numérotée comme V) auquel des bases hétérocycliques sont unies par l'intermédiaire d'une liaison glycosidique du modèle stéréochimique β. Les bases puriques sont les mêmes que dans l'ADN: on rencontre la cytosine dans l'ADN et l'ARN, mais la thymine qui n'apparaît pas dans l'ARN y est remplacée par l'uracile (XII). Les sièges de fusionnement des bases au sucre sont les mêmes que dans l'ADN,

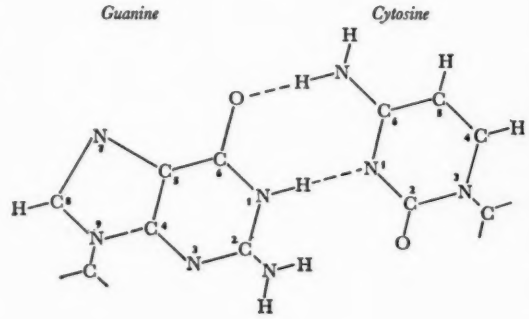
VIII[1]

c'est-à-dire N(9) des purines et N(3) des pyrimidines. D. M. Brown et A. R. Todd [13] ont supposé une liaison internucléotidique-3'-5' récurrente pour la chaîne principale de l'ARN (voir schéma (XIII)). Nous avons représenté l'acide nucléique sans ramifications: on n'a pas encore la preuve que l'ARN naturel soit ramifié et un titrage récent suggère le contraire [17]. Todd [14] a fait remarquer qu'en théorie au moins deux types de polynucléotide sont possibles, l'un portant le phosphate de terminaison au C(3') du résidu nucléoside et l'autre avec son phosphate extrême au C(5'). Les «monomères», du premier type seraient des phosphate-3'-nucléosides, les autres des phosphate-5'-nucléosides. Des dosages de groupe de terminaison de l'ARN ont livré des exemples des deux types, mais ce n'est guère concluant, toute dégradation d'un acide du second type donnant inéluctablement des matériaux se terminant par les groupes typiques du premier.

On a proposé une méthode de dégradation progressive pour identifier la séquence polynucléotide de l'ARN. Elle a donné un bon rendement pour de petits oligonucléotides mais son application aux acides nucléiques devra attendre la préparation



IX



X

de ces matériaux sous forme vraiment homogène. Les déterminations de la composition des bases de l'ARN nous apprennent moins que celles de l'ADN; il semble toutefois que la quantité des groupes céto-6 (guanine et uracile) est égale à celle des groupes amino-6 (adénine et cytosine) [15].

La structure macromoléculaire de l'ARN, elle aussi, est moins certaine que celle de l'ADN. Le poids moléculaire de l'ARN à l'état isolé est bien moindre que celui de l'ADN. Tous les spectres aux rayons X obtenus jusqu'à présent sont identiques pour divers échantillons d'ARN, mais les radiographies sont médiocres et difficiles à démêler. A titre provisoire on a proposé pour l'ARN des structures en hélice. Si l'on mélange des solutions de sels de sodium d'acides polyadénylique et polyuridylique — des polymères nucléotides préparés enzymatiquement — on observe un accroissement rapide de la viscosité. De la solution visqueuse on peut tirer des fibres vitreuses résistantes: elles donnent un spectre de diffraction aux

[1] Les deux rubans symbolisent les chaînes de sucre phosphaté, et les tiges verticales les paires de bases rattachant les chaînes. La ligne horizontale est l'axe de la fibre.

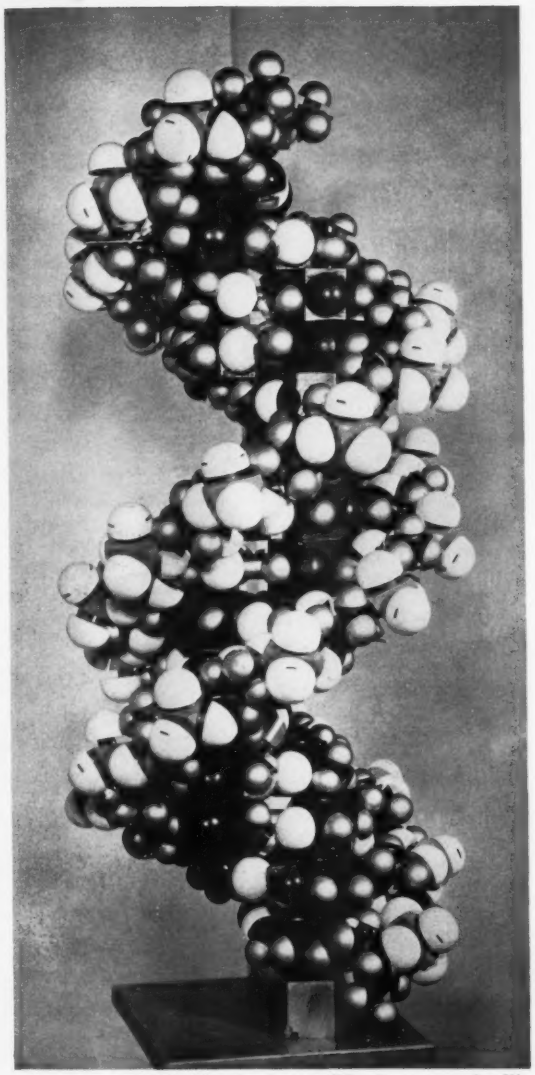
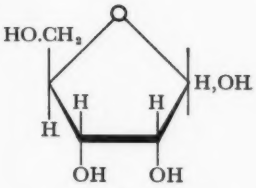
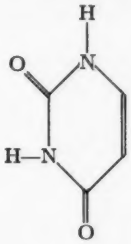


FIGURE 1 – *Modèle de la modification paracristalline d'ADN. On y voit les* 16 *paires de nucléotides. Dimensions approximatives du modèle:* 109 *cm* × 51 *cm, où* 2 *cm* ≡ Å.

rayons X bien orienté, ayant la répartition d'intensité typique d'une hélice [16]. On interprète ces résultats en disant que la molécule est une hélice double se composant d'un brin d'acide polyadénylique et d'un brin d'acide polyuridylique. Les bases, l'adénine et l'uracile, s'unissent par des ponts d'hydrogène à la façon déjà acceptée pour l'adénine et la thymine de l'ADN, les paires de bases étant empilées l'une sur l'autre à peu près perpendiculairement à l'axe de la fibre. Ces résultats montrent pour la première fois que



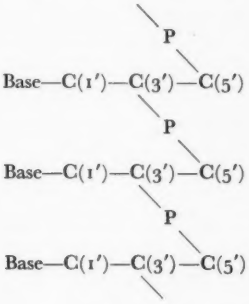
XI



XII

l'épine dorsale de la molécule d'ARN peut ressembler à celle de l'ADN, avec l'accouplement complémentaire des bases. Il s'ensuit qu'il peut donc exister une forme de la molécule d'ARN analogue à celle d'ADN et que ceci pourrait bien être la forme empruntée par l'ARN pour effectuer son dédoublement moléculaire présumé dans les virus végétaux et animaux les plus petits.

R. A. Cox et ses collaborateurs [17] ont obtenu des résultats de titrages électrométriques indiquant



XIII

la présence de liaisons à hydrogène dans de l'ARN des bactéries, et d'une levure.

NUCLÉOPROTÉINES

Les structures précédentes des acides nucléiques résultent d'expériences sur un matériau détaché de la protéine auquel il était combiné *in vivo*.

Des preuves venant de diverses sources indiquent que l'hélice double d'ADN se retrouve parmi les nucléoprotéines et dans des configurations biologiques intactes plutôt simples comme la tête de sperme de poisson [18]. Le sperme de poisson est la nucléoprotéine la plus simple puisque sa protéine se compose principalement de résidus d'arginine et son poids moléculaire est faible (4000–10 000) [19].

Des études de diffraction aux rayons X [20] suggèrent qu'une chaîne de polyarginine complètement étirée est enroulée autour du pas de vis le plus fin de la double hélice d'ADN; d'autres

mesures physicochimiques prouvent que cette chaîne y est ancrée par des forces électrostatiques pures entre les groupes d'arginine positifs et les groupes phosphates négatifs. On a suggéré [20] que puisque les résidus aminoacides non basiques (ceux qui ont des chaînes neutres) se présentent en paires dans les protamines, ils pourraient peut-être se loger sous forme de boucles dans les chaînes de polyarginine, où ils seraient retenus par l'attraction des cycles basiques de l'ADN. Il pourrait en être ainsi également lorsque des histones interviennent au lieu de protamines, puisqu'elles contiennent une plus grande proportion d'embranchements neutres. Cette structure de la nucléoprotamine explique une observation faite il y a bien longtemps: le fait qu'il y a le même intervalle (3,4 Å) entre les nucléotides de l'ADN et les aminoacides de la chaîne parfaitement étirée des polypeptides β. On a fait aussi la preuve optique que les nucléoprotéines ont la forme β [18]. Cette structure de la nucléoprotamine n'explique pas de façon évidente la spécificité de l'ADN envers les protéines, sauf si l'on tient compte de la théorie des boucles de chaînes secondaires aminoacides et leur attraction possible sur les cycles de bases.

Les ribonucléoprotéines qui ont reçu le plus d'attention sont les virus végétaux. La diffraction aux rayons X a révélé [21] que la chaîne de sucre phosphaté (l'épine dorsale) de l'ARN du virus de la mosaïque du tabac s'enfonce profondément dans la protéine du virus qui se compose de fractions d'unités disposées en spirale.

ASPECTS BIOLOGIQUES

Toute théorie visant à expliquer l'hérédité par la structure moléculaire doit finir par rendre compte de la reproduction, de la spécificité, de la variation et de la modification du matériau génique. La structure qu'on a assignée à l'ADN précédemment entraîne des déductions dont certaines ou toutes prendront peut-être un sens important quant à sa fonction biologique. En premier lieu la structure en spirale double permet le dédoublement. Dans le schéma (figure 2), si la séquence I est CTAGGTG . . . et II est la séquence complémentaire GATCCAC . . ., et si I et II peuvent être séparés d'une façon quelconque et peuvent s'adjoindre de nouveaux partenaires dans des hélices doubles nouvelles, celles-ci auront respectivement les structures I—II′ et I′—II où les signes primes dénotent les nouvelles chaînes. La séquence des paires de nucléotides de la molécule originale I—II s'est reproduite dans sa «progéniture» I—II′ et I′—II. Comme on ne parvient pas à séparer latéralement deux serpentins entremêlés comme ceux de l'ADN, on a avancé nombre d'hypothèses sur le mécanisme possible de la reproduction de l'ADN. Les plus vraisemblables envisagent que le dédoublement procède simultanément le long des deux chaînes sans exiger à un moment quelconque l'existence de brins isolés libres.

En deuxième lieu on a la possibilité de variation. Puisque l'ADN isolé contient au moins 10^4 paires de nucléotides complémentaires il peut y avoir de $4^{10\,000} \simeq 10^{6000}$ séquences de nucléotides pour des molécules individuelles d'ADN. La séquence de nucléotides semble la seule base possible pour la spécificité des molécules d'ADN mais ceci doit se manifester en dernière analyse par des protéines spécifiques pourvues de séquences d'acides aminés particuliers. On peut se demander comment quatre sortes de bases peuvent donner des séquences de plus de vingt acides aminés différents. Pour y répondre, P. C. Caldwell et C. N. Hinshelwood [22] ont suggéré que le «code» de chaque acide aminé pourrait se composer de deux unités adjacentes de nucléotide, et G. Gamow [23], en se basant sur le modèle de l'hélice double, a suggéré un code triplet puisqu'il y a vingt combinaisons de bases possibles dans un ordre quelconque, si l'on en prend trois à la fois des quatre disponibles. La figure 2 montre, dans le cadre du pointillé, deux groupes de trois éléments indépendants de ce genre; il faut se rappeler que la paire du milieu n'est qu'un élément indépendant. L'analyse de la fréquence à laquelle un acide aminé suit le précédent dans les quelques protéines simples dont on connaît les séquences, indique que ces séquences sont constituées tout à fait au hasard et il est à supposer que les triplets de nucléotide ne se recouvrent pas comme dans la figure 2.

En troisième lieu nous devons considérer la possibilité de modification de la molécule d'ADN. Plusieurs possibilités se présentent ici.

(*a*) Comme nous l'avons vu, les liaisons phosphoester sont détruites par des agents de toute sorte, y compris les radiations ionisantes et les enzymes. Si l'on rompt des liaisons phospho-ester individuelles par ces deux dernières méthodes, on a vu [12*c*, 24, 25] que la molécule ne se divise en deux que si les ruptures se situent en deux points opposés, ou presque opposés, des deux chaînes (par ex. α1, α2, figure 3). Si les ruptures des chaînes opposées (par ex. α1, α4) sont séparées par plus de deux ou trois [25] paires à liaison d'hydrogène,

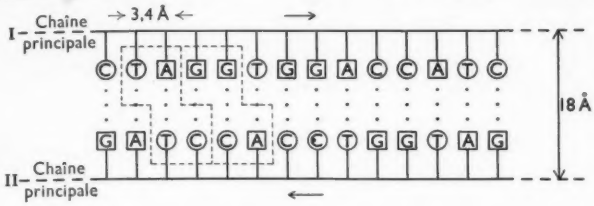


FIGURE 2 – *Schéma des deux séquences de bases complémentaires possibles de la molécule à hélice double de désoxyribonucléate.* ▭ *Unité de nucléotide purique (A = résidu d'adénine, G = résidu de guanine).* ▭ *Unité de nucléotide pyrimidique (T = résidu de thymine, C = résidu de cytosine ou de méthyl-5-cytosine). . . . Systèmes de liaisons à hydrogène (voir IX et X) reliant les deux chaînes hélicoïdales principales représentées par des lignes droites continues. Les flèches indiquent les directions des chaînes principales. Le diamètre de l'hélice est de 18 Å; la distance internucléotide de 3,4 Å le long de l'axe se rapporte à la modification paracristalline B. Le pointillé encadre deux unités hypothétiques de «chiffrage».*

la molécule reste intacte bien que sa forme changera peut-être. Des ruptures dans la même chaîne (par ex. α1, α3) ne provoquent pas nécessairement le clivage des unités intermédiaires et ne s'observeront que par la rupture subséquente des ponts à hydrogène. On a cru d'abord que l'effet des gaz moutardes à l'azote et au soufre avait été amené par la rupture de liaisons internucléotides avec lesquelles ils formaient des tri-esters instables de résidus d'acide phosphorique.

On peut observer une similarité de forme entre les conséquences de la rupture d'une liaison internucléotide dans l'ADN provoquée par les radiations et les modifications que ces agents apportent aux chromosomes. Ainsi, si le segment des ruptures α1–α2, α4–α5 se resoude de telle sorte que les atomes impliqués à α2 aboutissent à α5 et ceux de α1 arrivent en α4, on aura une situation nominalement analogue à une inversion à l'intérieur d'un chromosome, surtout si la séquence de nucléotide et son modèle s'identifient avec la spécificité de la protéine, et en fin de compte avec l'action du gène. De même, la rupture double α1–α2 amènerait deux fragments qui pourraient, par union éventuelle avec d'autres, donner un effet analogue à un échange de chromosomes. De plus si les ruptures α3 et α5 survenaient en même temps qu'une rupture de liaison hydrogène (γ) par irradiation γ, le segment allant de α3 à α5 serait perdu et la reproduction de cette section serait affectée: ce serait peut-être une partie de la base moléculaire des mutations. Mais à l'heure actuelle ces considérations ne sont que des analogies apparentes, si l'on se rappelle la différence d'échelle entre les chromosomes et les molécules d'ADN.

(*b*) D'autres liaisons covalentes pourraient être détruites (par ex. β1, β2, β3, figure 3), mais d'habitude dans des conditions de traitement qui sont moins importantes en biologie.

(*c*) La rupture de liaisons hydrogène de croisement (γ, figure 3) appelée «dénaturation» parce qu'elle entraîne la perte permanente de la configuration hélicoïdale, peut être provoquée par l'irradiation ultrasonique, l'irradiation ionisante, la chaleur, des solutions à *p*H élevé ou bas et, vraisemblablement, les enzymes [25]. Quand il y a chauffage ou ionisation il semble [26] qu'une séquence minima de 10 liaisons (ou plus) doit être brisée avant que la dénaturation soit permanente (γ, figure 3). La rupture de liaisons à hydrogène est l'un des premiers effets décelables des rayons γ [12*c*] sur l'ADN en solution et doit amener la perte de la forme hélicoïdale double en diverses sections, ce qui altère son pouvoir reproducteur.

Bien que ces analogies entre le comportement chimique et biologique soient encourageantes, il ne nous est pas permis de nous aventurer plus

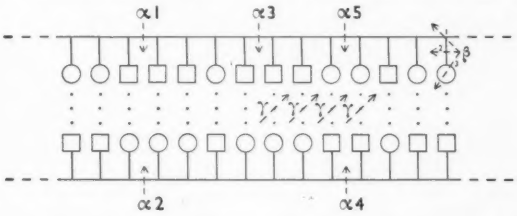


FIGURE 3 – *Modifications possibles de la molécule de désoxyribonucléate (diagramme schématique de la figure 2).* – – –→ *Ruptures possibles.* α, *Ruptures de liaisons phospho-ester de la chaîne principale.* β, *Ruptures d'autres liaisons covalentes d'unités nucléotides.* γ, *Rupture de ponts hydrogène (voir IX et X).*

avant parce que nous ignorons l'arrangement des molécules d'ADN dans les chromosomes [18]. Le diamètre d'une molécule isolée d'ADN est de 18 Å et celui de la nucléoprotéine la plus simple est à peine plus grand [20], alors que les unités les plus rapprochées de l'architecture des chromosomes seraient les particules (de 4000 Å de long et 400 Å de large) isolées par D. Mazia [27], ou les «micro-fibrilles» de 100–200 Å de diamètre observés sous le microscope électronique [18]. Ces unités pourraient contenir une multitude de molécules d'ADN. Wilkins [28] a observé aux rayons X l'arrangement régulier, dans des noyaux d'érythrocyte de volaille, de molécules de nucléohistone de 20 Å de diamètre en rangs parallèles,

à 45 Å l'un de l'autre. Les molécules de l'ADN ont généralement, à l'état isolé, une longueur, suivant l'axe, de l'ordre de 30 000 Å (pour un poids moléculaire d'environ six millions), qui dépasse de loin les dimensions les plus grandes des structures biologiques dont il provient: on a donc supposé [18] que la molécule d'ADN peut se replier sur elle-même en certains points, ce qui est possible s'il y a une rupture internucléotide (α) de temps à autre.

Maintenant on pourrait bien dire que ces hélices doubles sont les «spirales moléculaires», qu'on avait inventées pour expliquer les spirales visibles des chromosomes [29]. S. Benzer [30] a prouvé naguère qu'on peut obtenir une recombinaison entre des «loci» très rapprochés du chromosome génétique d'un bactériophage; si le chromosome physique était l'ADN cette recombinaison porterait sur une séparation d'une douzaine de nucléotides à peine. Ainsi on arrivera peut-être à combler l'abîme qui sépare le niveau d'organisation moléculaire du niveau cytologique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude au Professeur J. T. Randall, F.R.S., au Dr. M. H. F. Wilkins et au Dr. W. E. Seeds pour nous avoir permis de préparer et de publier la figure 1.

BIBLIOGRAPHIE

[1] HOTCHKISS, R. D. «The Nucleic Acids». Vol. II, p. 436. Academic Press Inc., New-York. 1955.
[2] BOIVIN, A., VENDRELY, R. et VENDRELY, C. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **226**, 1061, 1948.
[3] GRIFFITH, F. *J. Hyg., Camb.*, **27**, 113, 1928.
[4] AVERY, O. T., MACLEOD, C. M. et MCCARTY, M. *J. exp. Med.*, **79**, 137, 1944.
[5] ZAMENHOF, S. *Prog. Biophys. biophys. Chem.*, **6**, 85, 1956.
[6] HERSHEY, A. D. et CHASE, M. *J. gen. Physiol.*, **36**, 39, 1952.
[7] MARKHAM, R. *2nd Symp. Soc. gen. Microbiol.*, 85, 1953; *Advanc. Virus Res.*, **1**, 315, 1953; *Prog. Biophys. biophys. Chem.*, **3**, 61, 1953.
[8] GIERER, A. et SCHRAMM, G. *Z. Naturforsch.*, **116**, 138, 1956.
[9] GOLDSTEIN, L. et PLAUT, W. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **41**, 874, 1955.
[10] WILKINS, M. H. F., STOKES, A. R. et WILSON, H. E. *Nature, Lond.*, **171**, 738, 1953; **172**, 759, 1953.
[11] WATSON, J. D. et CRICK, F. H. C. *Ibid.*, **171**, 737, 1953.
[12a] PEACOCKE, A. R. *Proc. Int. Symp. macromol. Chem., Italie*, 1954; *Ric. Sci.*, **25**, 812, 1955.
[12b] RILEY, D. P. et OSTER, G. *Biochim. biophys. Acta*, **7**, 526, 1951.
[12c] COX, R. A., OVEREND, W. G., PEACOCKE, A. R. et WILSON, S. *Nature, Lond.*, **176**, 919, 1955.
[13] BROWN, D. M. et TODD, A. R. *J. chem. Soc.*, 52, 1952.
[14] TODD, A. R. *Chem. and Ind. (Rev.)*, 802, 1956.
[15] ELSON, D. et CHARGAFF, E. *Nature, Lond.*, **173**, 1037, 1954; *Biochim. biophys. Acta*, **17**, 367, 1955.
[16] RICH, A. et DAVIES, D. R. *J. Amer. chem. Soc.*, **78**, 3548, 1956.
[17] COX, R. A., JONES, A. S., MARSH, G. E. et PEACOCKE, A. R. *Biochim. biophys. Acta*, **21**, 576, 1956.
[18] AMBROSE, E. J. *Prog. Biophys. biophys. Chem.*, **6**, 25, 1956.
[19] FELIX, K., FISCHER, H. et KREKELS, A. *Ibid.*, **6**, 1, 1956.
[20] FEUGHELMAN, M., LANGRIDGE, R., SEEDS, W. E., STOKES, A. R., WILSON, H. R., HOOPER, C. W., WILKINS, M. H. F., BARCLAY, R. K. et HAMILTON, L. D. *Nature, Lond.*, **175**, 834, 1955.
[21] FRANKLIN, R. E. *Ibid.*, **177**, 928, 1956.
[22] CALDWELL, P. C. et HINSHELWOOD, C. N. *J. chem. Soc.*, 3156, 1950.
[23] GAMOW, G. *Biol. Medd., Kbh.*, **22**, No. 3, 1954; *Sci. Amer.*, **193**, 70, 1955.
[24] STACEY, K. A. et ALEXANDER, P. *Int. Conf. Radiobiol., Cambridge*, 1955; «Progress in Radiobiology». Oliver et Boyd, Edimbourg. 1956.
[25] THOMAS, C. A. *J. Amer. chem. Soc.*, **78**, 1861, 1956.
[26] COX, R. A. et PEACOCKE, A. R. *Int. Symp. macromol. Chem., Israel*, 1956; *J. Polymer Sci.* (Sous presse.)
[27] MAZIA, D. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **40**, 521, 1954.
[28] WILKINS, M. H. F. *Biochem. Soc. Symp.*, 1956.
[29] DARLINGTON, C. D. *Nature, Lond.*, **176**, 1139, 1955.
[30] BENZER, S. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **41**, 344, 1955.

Les maladies à virus des végétaux et leur identification

par R. MARKHAM

Il est difficile d'évaluer l'importance économique relative des différents types d'agents pathogènes des plantes, mais l'attention portée aux virus est sans doute inférieure à celle qu'ils méritent. Leur étude expérimentale est en effet assez difficile et les symptômes qu'ils provoquent n'étant pas connus, même de beaucoup de phytopathologistes, sont souvent soit négligés soit attribués à des déficiences minérales ou à des maladies cryptogamiques.

La gamme des végétaux susceptibles d'infection par virus est très étendue et l'on peut s'attendre à trouver au moins une maladie à virus pour chaque plante à fleurs. Il est, par contre, assez singulier que les conifères et les végétaux inférieurs semblent insensibles aux maladies à virus. De même, il existe de nombreux virus qui affectent les plantes. Le nombre des virus connus atteint quelques centaines et s'accroît toujours. Beaucoup sont très éclectiques dans le choix de leur hôte et affectent à la fois des monocotylédones et des dicotylédones. La plupart des virus, il est vrai, tendent à avoir une gamme d'hôtes plus restreinte, mais il est exceptionnel que l'un d'eux n'affecte qu'une espèce végétale et ce fait constitue l'un des caractères les plus insidieux de ce type de parasite.

NOMENCLATURE DES VIRUS VÉGÉTAUX

La plupart des virus ont des noms vulgaires dérivés des symptômes que présente l'hôte sur lequel on l'a trouvé originellement. L'usage de ce type de nomenclature basée sur un accident historique est fréquemment cause de confusion. Par exemple, une des maladies à virus les plus importantes et les plus répandues en Grande-Bretagne est appelée «mosaïque du concombre» (figure 8), mais le concombre (*Cucumis sativus*), plante délicate et exotique, est manifestement incapable d'être l'hôte primaire d'un parasite obligatoire comme ce virus, qui possède en réalité une gamme immense d'hôtes (figures 2, 4, 7, 9–11). Parmi ceux-ci on trouve beaucoup de plantes vivaces robustes, comme *Chrysanthemum*, *Daphne*, *Euonymus* et d'autres à partir desquelles les aphides, vecteurs naturels de cet agent pathogène, le répandent au cours de leurs migrations.

La maladie connue sous le nom de nécrose du tabac nous fournit un exemple intéressant de la confusion créée par ce type de nomenclature. On a observé cette maladie, pour la première fois, à Cambridge il y a des années, en inoculant des plants de tabac (*Nicotiana tabacum*) utilisés à des fins expérimentales avec la sève extraite de leurs propres racines. Ceci fit apparaître une maladie caractéristique (figure 13) et l'on a trouvé que le virus provoque des symptômes similaires sur un grand nombre de plantes où il est incapable de produire autre chose que des réactions locales. Pendant des années, on a étudié ce virus ou, comme on l'a découvert plus tard, ce groupe de virus, à titre de curiosité scientifique. Cependant, il y a sept ans on a découvert qu'il provoquait une maladie sérieuse du haricot (*Phaseolus vulgaris*) en Hollande, pays d'où l'on a importé en Grande-Bretagne des tulipes (*Tulipa* sp.) ayant aussi ce virus (figure 14). On trouve maintenant fréquemment aussi des plants de *Primula obconica* infectés par le sol contaminé dans lequel ils poussent. Ce virus est remarquable par ce type de transmission et les infections primitives de Cambridge se sont probablement produites à partir de sols mal stérilisés.

SYMPTÔMES DES VIRUS VÉGÉTAUX

Panachure de la fleur. Parmi les symptômes causés par les virus, les plus manifestes et certainement pas les moins attrayants sont les panachures de fleurs. Ici, l'infection provoque une altération de la pigmentation des pétales de la fleur. Les couleurs rouges ou bleues des fleurs sont dues à des pigments anthocyaniques et la plupart des panachures affectent ces pigments. Les tulipes en présentent l'exemple le mieux connu: elles sont sujettes à un virus spécifique provoquant la panachure de la fleur (figure 1). Chez les tulipes, comme chez d'autres plantes, par exemple la giroflée des murailles (*Cheiranthus*), la couleur rouge-sang ou rouge-orangé est habituellement

FIGURE 1 – *Tulipes montrant une panachure de la fleur due au virus spécifique de la panachure de la tulipe.*

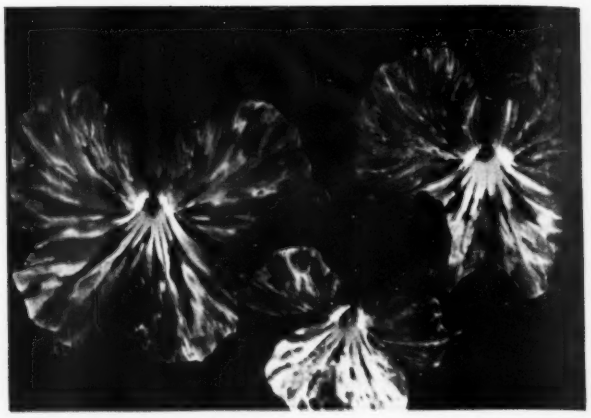


FIGURE 2 – Viola tricolor *montrant une panachure due au virus de la mosaïque du concombre.*

FIGURE 3 – *Giroflée des murailles infectée par le virus des taches annulaires «ring-spot» noires du chou; sur la droite, des fleurs saines.*

FIGURE 4 – *Panachure de la fleur de* Campanula isophylla *infectée par le virus de la mosaïque du concombre et d'autres virus.*

FIGURE 5 – *Choux de Bruxelles infectés par le virus des taches annulaires «ring-spot» noires du chou.*

FIGURE 6 – *Panachure du pois de senteur provoquée par le virus de la mosaïque du pois.*

FIGURE 7 – *Panachure de la fleur, que l'on trouve souvent chez le Glaïeul et qui est due au virus de la mosaïque du concombre.*

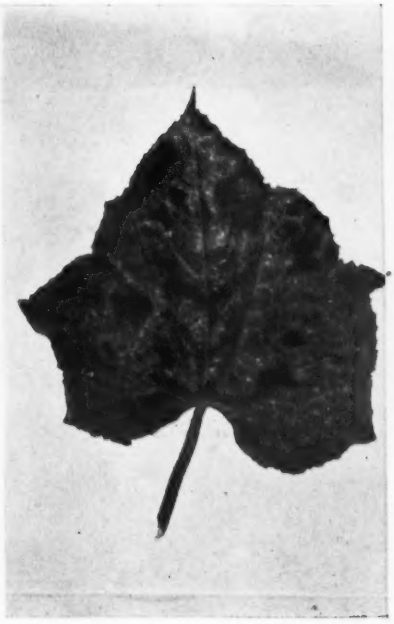


FIGURE 8 – *Virus de la mosaïque du concombre sur concombre.*

FIGURE 9 – *Pied d'alouette, montrant une panachure de la fleur provoquée par le virus de la mosaïque du concombre.*

FIGURE 10 – *Symptômes du virus de la mosaïque du concombre sur tomate. Noter la réduction du limbe des feuilles et la déformation des fleurs.*

FIGURE 11 – *Dahlia montrant des symptômes d'infection par le virus de la mosaïque du concombre.*

FIGURE 12 – *Virus de la mosaïque du pois; c'est un des rares virus pathogènes transmis par les graines.*

FIGURE 13 – *Lésions dues au virus de la nécrose du tabac, chez le tabac.*

FIGURE 14 – *Symptômes de nécrose sur tulipe, que l'on sait maintenant être dus au virus de la nécrose du tabac.*

FIGURE 15 – *Virus de la jaunisse de la betterave à sucre qui provoque chez cette plante une maladie d'une grande importance économique.*

FIGURE 16 – *Tumeur ou énation sur la face inférieure d'une feuille de concombre, provoquée par le virus du «black-ring» de la tomate.*

FIGURE 17 – *Tomate atteinte de la maladie bronzée («spotted wilt»), montrant les taches et la couleur bronzée des feuilles.*

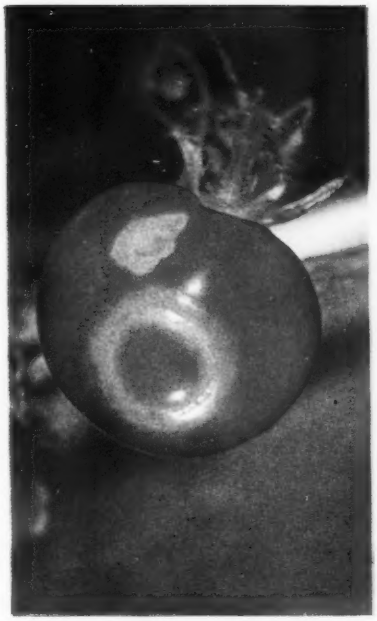


FIGURE 18 – *Lésion en forme d'anneau sur un fruit de tomate due au virus de la maladie bronzée de cette plante.*

FIGURE 19 – *Face inférieure d'une feuille de pomme de terre montrant les symptômes primaires typiques du virus Y de la pomme de terre. Ceux-ci sont souvent confondus avec ceux du mildiou (figure 20).*

FIGURE 20 – *Feuille de pomme de terre montrant les lésions du mildiou* (Phytophthora).

FIGURE 21 – *Symptômes typiques du virus des taches annulaires noires du chou chez le tabac, utilisé comme plante témoin pour ce virus.*

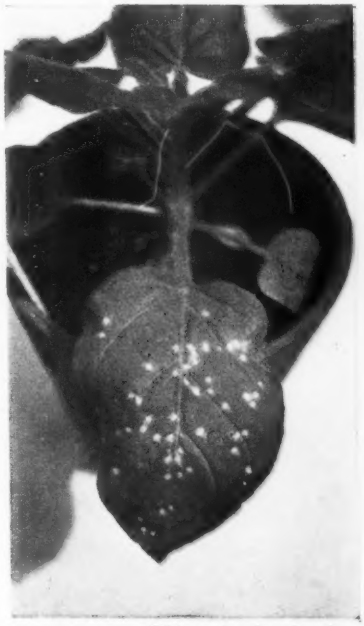


FIGURE 22 – *Lésions locales du virus de la mosaïque du tabac sur* Nicotiana glutinosa. *On peut les utiliser pour des essais quantitatifs.*

FIGURE 23 – *Virus de l'enroulement de la pomme de terre. Il provoque une infection très grave, commune dans le sud de l'Angleterre où il est propagé par les aphides comme beaucoup de virus végétaux.*

FIGURE 24 – *«Curly dwarf», maladie de la pomme de terre due à une infection chronique des virus X et Y de la pomme de terre.*

FIGURE 25 – *Virus X de la pomme de terre sur le tabac qui est une des meilleures plantes témoins pour le diagnostic de cette maladie.*

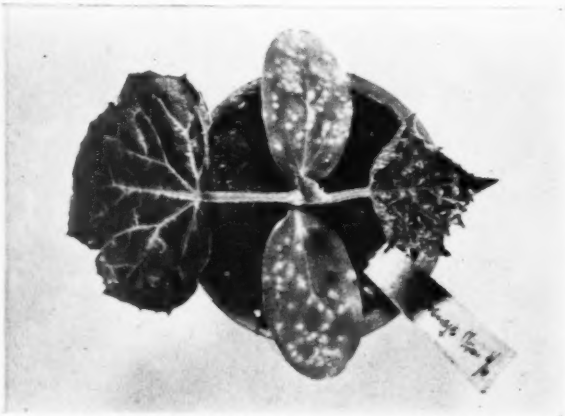


FIGURE 26 – *Lésions locales et mosaïque générale du concombre inoculé à partir d'un plant de pomme de terre d'Amérique du Sud.*

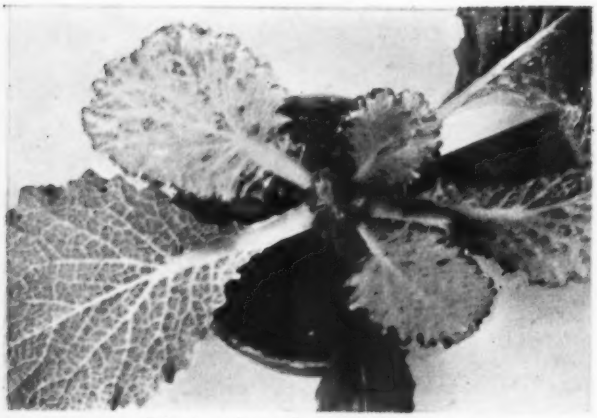


FIGURE 27 – *Mosaïque jaune du navet qui provoque une panachure très accusée des feuilles chez* Brassica sinensis.

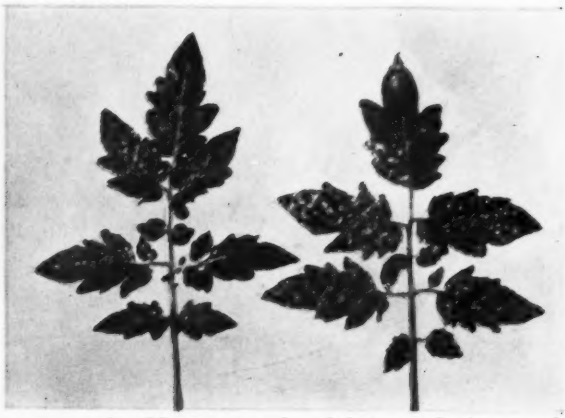


FIGURE 28 – *Mosaïque «aucuba» de la tomate due à une souche du virus de la mosaïque du tabac.*

due à un pigment anthocyanique joint à d'autres pigments, et ordinairement ces derniers ne sont pas affectés. On obtient alors une panachure sur fond jaune comme celle que provoque chez la giroflée (figure 3) le virus du «ring-spot» (taches annulaires) noir du chou, très commun dans les cultures de choux (figure 5) où l'on peut facilement en attribuer les symptômes à une déficience minérale.

Les panachures peuvent n'affecter qu'une partie de la pigmentation anthocyanique et donner alors des effets multicolores comme chez la pensée (*Viola tricolor*, figure 2) et chez le pied-d'alouette (*Delphinium* sp., figure 9). Ces deux panachures sont dues au virus de la mosaïque du concombre auquel on doit les panachures de beaucoup d'autres plantes comme *Gladiolus* (figure 7), *Anemone*, etc. Ces symptômes très manifestes sont si rarement reconnus que la panachure du pied-d'alouette par exemple a été étudiée comme étant un caractère génétique, alors qu'un examen superficiel des plantes à fleurs dans les serres suggère que beaucoup de «variétés» ne sont en fait que des plantes normales présentant des symptômes de maladies.

Une étude de la physiologie de la panachure des fleurs serait fructueuse et on peut noter qu'un virus donnant une panachure dans une plante n'en provoque pas nécessairement dans une autre plante qui possède les mêmes pigments anthocyaniques. Ainsi le virus de la mosaïque du concombre, extrêmement commun chez le *Dahlia*, n'y provoque jamais de panachure de la fleur.

Une autre panachure commune de la fleur est celle du pois de senteur (*Lathyrus odoratus*, figure 6) provoquée par le virus de la mosaïque du pois ou de la fève (figure 12). Ce virus cause de sérieuses maladies des pois (*Pisum sativum*) et des fèves (*Vicia faba*), d'autant plus sérieuses qu'elles peuvent très fréquemment se transmettre par les graines aussi bien que par l'intermédiaire des aphides.

AUTRES SYMPTÔMES TYPIQUES DE MALADIES À VIRUS VÉGÉTAUX

Mosaïques. Un des symptômes les plus communs est la mosaïque dont la figure 11 donne un exemple typique chez le *Dahlia*. Cette mosaïque est due au virus de la mosaïque du concombre. Les figures 8, 12, 25–28, montrent d'autres symptômes en mosaïque. Ces mosaïques sont dues à des variations de la teneur en chlorophylle des différentes parties des feuilles, qui peuvent aller depuis des marbrures à peine visibles jusqu'à de brillantes panachures comme celles que donnent le virus de la jaunisse du pissenlit (*Taraxacum*) et le virus de la mosaïque jaune du navet chez le chou chinois (*Brassica sinensis*), qui toutes deux peuvent être prises à tort pour des variations génétiques.

Malformations. La plupart des mosaïques s'accompagnent de légères malformations des feuilles, mais on peut trouver quelques cas extrêmes. La figure 10 montre les symptômes typiques de la mosaïque du concombre chez la tomate; l'apparence des plants peut donner à penser que des insectes ont mangé les feuilles. Une souche du virus de la mosaïque du tabac provoque aussi de tels symptômes et certaines applications d'herbicides sélectifs peuvent produire un effet assez analogue.

L'énation, tumeur du tissu de la feuille, constitue un autre type de malformation; la figure 16 en montre un bon exemple sur une feuille de concombre atteint par le virus du «black-ring» de la tomate. Ce virus présente un caractère inhabituel: il provoque la formation d'énations seulement chez les concombres de serre et non sur les variétés à côtes de plein air.

Jaunissement. On observe le jaunissement des feuilles en Grande-Bretagne dans deux viroses importantes: la jaunisse de la betterave à sucre (figure 15) et l'enroulement de la pomme de terre (figure 23). L'absence de chlorophylle n'y est pas localisée en taches comme dans les mosaïques. Ces maladies causent des dommages au système vasculaire de la plante et les feuilles prennent une consistance de cuir et ont tendance à se pigmenter. L'enroulement de la pomme de terre est assez caractéristique, mais on peut confondre ses symptômes avec ceux que provoque une blessure de la tige; on peut facilement attribuer à tort ceux de la jaunisse de la betterave à une déficience minérale.

«Taches annulaires» et nécrose. Beaucoup de virus provoquent la formation de taches en anneau et la figure 18 montre un tel effet du virus de la maladie bronzée («spotted wilt») de la tomate, sur le fruit de tomate. Ce virus provoque aussi la formation de taches sur les feuilles d'un grand nombre de plantes, comme la tomate (figure 17), chez laquelle il provoque aussi la production d'anthocyanines qui donne une couleur bronzée aux feuilles. On peut voir d'autres symptômes de «ring-spot» sur les figures 13, 21, 22 et 26 qui montrent des réactions locales de feuilles inoculées artificiellement et sur la figure 5 où il s'agit d'une infection générale de l'organisme.

Les taches annulaires, qui peuvent être purement chlorotiques, sont très fréquemment nécrotiques. Une nécrose très grave tue les cellules

infectées et sépare ainsi le virus des tissus sains (figures 13 et 22). Mais une nécrose localement moins sévère donne un résultat final plus grave pour la plante. La figure 19 montre les symptômes primaires du virus Y de la pomme de terre sur cette plante; on peut les confondre avec ceux du mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora*) (figure 20). Un examen attentif de la face inférieure de la feuille montre cependant que la nécrose n'atteint que les nervures en progressant vers leur extrémité; les feuilles se flétrissent et restent pendantes. La présence simultanée de ce virus et du virus X chez la pomme de terre provoque un rabougrissement très grave (figure 24).

MÉTHODES D'IDENTIFICATION

L'identification d'une maladie à virus d'après les symptômes de l'hôte est plus un art qu'une science et bien qu'il soit possible de devenir expert grâce à la pratique, il est ordinairement désirable de confirmer son diagnostic expérimentalement. Ceci est, en général, heureusement très facile; il suffit de faire quelques inoculations à des plantes dont les réactions au virus supposé sont bien connues. On peut, par exemple, identifier le virus qui provoque la panachure de la fleur de la giroflée des murailles grâce aux symptômes qu'il donne chez le tabac. On broie un fragment de la giroflée, on frotte doucement le jus obtenu sur les feuilles d'un plant de tabac, puis on lave l'excès à l'eau. Au bout de quelques jours, des lésions rougeâtres caractéristiques, à limite chlorotique, apparaissent sur le plant de tabac (figure 21).

On utilise souvent le tabac. Ainsi la figure 25 montre l'effet du virus X de la pomme de terre sur un plant de tabac inoculé à partir de pommes de terre qui ne manifestaient aucune maladie visible. Les souches bénignes de virus X peuvent ne pas provoquer de lésions «locales» apparentes sur les feuilles de tabac et celle que l'on a figurée est une des plus jeunes qui montre les symptômes généraux de la maladie. Ce type de symptôme demande environ quinze jours pour se manifester.

Une autre plante très fréquemment utilisée est *Nicotiana glutinosa*. La figure 22 montre les symptômes qu'elle présente lors d'une infection par des souches de virus de la mosaïque du tabac. Ce virus est extrêmement commun dans les plants de tomate, ce qui est dû en grande partie à l'habitude de fumer. Les cultures commerciales sont ordinairement très contaminées, certaines souches du virus s'adaptant très bien à la tomate. Beaucoup de producteurs ne reconnaissent pas que leurs plants sont malades. La figure 28 montre les symptômes dus à une souche plus apparente de ce virus.

On trouve fréquemment des plantes infectées par deux virus ou davantage. Par exemple, le virus de la figure 16 provient originellement d'un fruit de tomate qui possédait trois virus différents et la campanule de la figure 4 a deux virus comme le plant de pomme de terre de la figure 24. Il est difficile de séparer de tels mélanges, mais on peut le faire en jouant sur les différences que présentent les virus dans la gamme de leurs hôtes. La figure 26 illustre une telle séparation. Ce virus provenait d'une pomme de terre d'Amérique du Sud et possédait la propriété peu commune pour les virus de pomme de terre de provoquer une maladie du concombre. Le transfert à cette dernière plante l'a donc séparé automatiquement de nombreux autres virus. D'autres méthodes pour séparer les complexes de virus utilisent la stabilité différentielle de ceux-ci au chauffage ou au vieillissement. Ainsi la sève de la pomme de terre de la figure 24 qui contient deux virus en perdra un (virus Y) au bout d'une conservation de quelques jours, qui laisse intact le virus X plus stable. On peut isoler le virus Y en le transmettant de la plante d'origine à un autre plant de pomme de terre par l'intermédiaire d'un aphide, comme *Myzus persicae*, qui ne transmet pas le virus X.

D'autres méthodes d'identification, d'un usage limité, utilisent les réactions sérologiques au sérum provenant de lapins immunisés contre le virus en question. Naturellement les lapins ne manifestent aucune maladie, mais ils produisent des anticorps qui réagissent spécifiquement avec la sève des plantes malades.

Enfin, un petit nombre de virus sont suffisamment stables et se trouvent en concentration suffisante pour qu'on puisse les identifier par purification et examen des cristaux sous le microscope. Le virus de la mosaïque jaune du navet (figure 27) appartient à cette catégorie.

BIBLIOGRAPHIE

BAWDEN, F. C. «Plant viruses and virus diseases». Chronica Botanica Company, Waltham, Mass. 1950.

SMITH, K. M. «Virus diseases of farm and garden crops». Littlebury, Worcester. 1945.

Idem. «Recent advances in the study of plant viruses». J. and A. Churchill, Londres. 1951.

Idem. «Textbook of plant virus diseases». J. and A. Churchill, Londres. 1957.

SMITH, K. M. et MARKHAM, R. «Mumps, measles and mosaics». Collins, Londres. 1954.

Linné (1707–1778)

par W. O. JAMES

Cette année 250 ans se seront écoulés depuis la naissance de Linné, une des plus grandes figures de l'histoire de la biologie. L'esquisse biographique que l'on trouve ici fait ressortir la complexité du personnage et contient surtout une appréciation du système linnéen. Celui-ci présente évidemment des défauts, notamment son caractère artificiel, mais son mérite est d'avoir apporté de l'ordre dans la masse de données concernant les végétaux, qui s'était accumulée au cours du XVIIIe siècle.

Dans ses cours de médecine Linné affirmait que la condition primordiale de la santé et du bonheur était d'être né de parents jeunes, vigoureux et en pleine possession de leurs facultés sexuelles. C'était là un avantage qu'il disait posséder lui-même. Son père, Nils Linné, ministre évangélique de Stenbrohult, en Suède méridionale, épousa le 6 mars 1706, alors âgé de 32 ans, la fille de son supérieur paroissial. Leur fils Charles Linné naquit le 23 mai (Nouveau Style) 1707. Des liens d'étroite affection existèrent toute leur vie durant entre les parents et leur premier né.

Après que celui-ci fut entré à l'Université, son père n'eut pas les moyens de l'y maintenir le temps qu'il fallait, mais, dans un sens, il fit mieux: il lui transmit un caractère qui inspirait la confiance et l'affection à un tel point que les protecteurs riches et influents se sont succédé pour permettre au jeune homme de donner libre cours à ses talents ou à ses penchants. Cette manne lui tomba du ciel partout où il se trouvait: à Lund, à Upsal, à Stockholm ou en Hollande.

Au cours de la deuxième année qu'il passa à Upsal (1729–30) Linné offrit à son bienfaiteur du moment, comme cadeau de nouvel an, une plaquette intitulée *Sponsaliorum plantarum* qui était la première manifestation de son génie. Olof Rudbeck le fils, chargé «malgré lui» des cours de botanique à l'Université, désirait un changement d'activité, et il se fit remplacer incontinent par son talentueux élève, lequel avait d'ailleurs commencé à se faire un petit revenu en donnant des leçons particulières. Du coup, le nombre de présences au cours de botanique passa de quatre-vingts à quatre cents.

Deux ans plus tard Linné se rend en Laponie. Ce voyage est le prototype de ceux qu'organisent de nos jours les sociétés d'exploration universitaires, avec la différence toutefois que celui-ci est une expédition à membre unique. Charles Linné y tient tous les rôles: organisateur, minéralogiste, botaniste et zoologiste. Il lui fallait six cents dalers, et il en demanda quatre cents à titre de subvention à la Société royale des sciences d'Upsal. La somme lui fut accordée après quelque hésitation et il ne resta plus, dit-on, dans les coffres de la société qu'un daler et dix-neuf öre. Le voyage présentait des dangers et beaucoup de difficultés, que le jeune explorateur consigne sans atténuation dans le journal qu'il a fait publier. Au cours de leur pénible traversée des hauteurs de Lyksele, lui et son guide lapon perdaient pied parfois et étaient obligés de revenir en arrière, épuisés, et leurs demi-bottes remplies d'eau glacée. Et il ajoute: «Même si ces souffrances nous avaient été infligées en expiation d'un crime, elles auraient été d'une cruauté outrée... Que je regrette d'avoir entrepris un tel voyage!» En fin de compte il se trouva au retour en meilleure forme qu'au départ et affirma qu'il aurait pu marcher quatre fois plus loin. *Flora Lapponica* contient sous forme de journal les résultats scientifiques obtenus.[1]

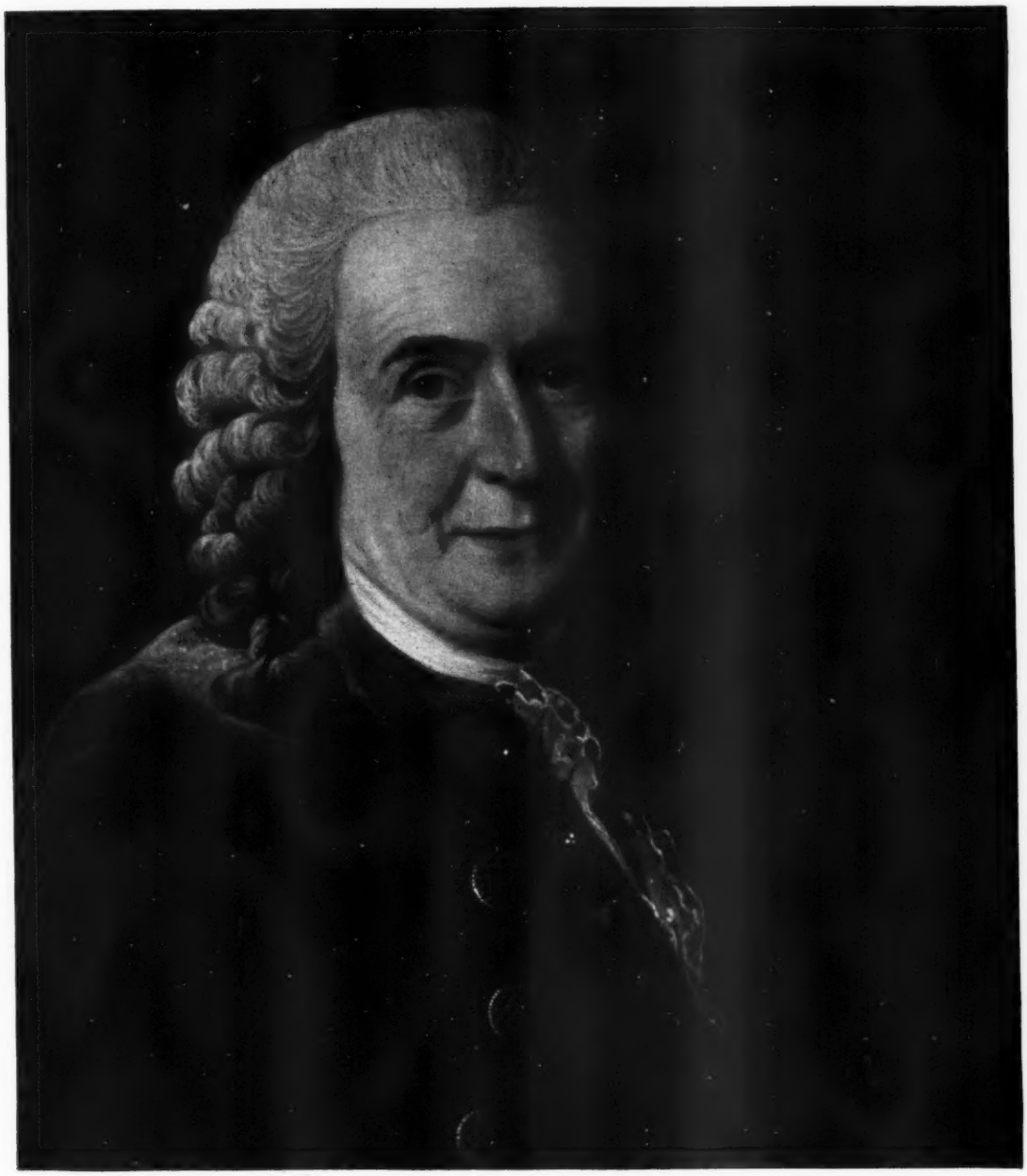
Ne trouvant aucune perspective d'emploi après sept ans d'étude, Linné décide de s'adonner à la médecine comme moyen d'existence. Les médecins suédois de l'époque étant généralement nantis d'un doctorat hollandais, Linné se rend à Harderwijk dont l'université accueille beaucoup d'étrangers en quête de diplômes médicaux. Arrivé le 18 juin (Nouveau Style) 1735, il reçoit une semaine après le diplôme qui lui donne le droit d'exercer.

Mais déjà il n'avait plus les moyens de repartir pour la Suède et n'avait pas non plus réalisé le deuxième objectif de son voyage en Hollande: la publication des œuvres qu'il avait rédigées à Upsal. De nouveau quelques mécènes vinrent à son secours et son séjour se prolongea deux ans durant lesquels il fit publier la plupart de ses plus importants ouvrages.

[1] Une traduction anglaise très vivante de Sir James (Edward) Smith, premier président de la *Linaean Society*, parut en 1811 sous le titre *Lachesis Lapponica*.

FIGURE 1 – *Médaillon de Wedgwood, représentant Linné. D'après l'original de C. F. Inlander. Un élève de Linné, Solander, qui voyagea avec Cook sur l'*Endeavour *affirma, au sujet d'un de ces médaillons, que c'était le meilleur portrait de son vieux maître qui ait jamais été exécuté.*

FIGURE 2 – Linnaea borealis *L. Ce genre a été nommé d'après Linné par son ami, le Hollandais Gronovius. C'est le motif principal de la décoration d'un service à thé conservé au musée du jardin botanique d'Upsal.*



Carl ~ Linné

FIGURE 3 – *Linné à l'âge de 68 ans. Portrait à l'huile de A. Roslin. Collection de Gripsholm. La signature date de dix ans auparavant.*

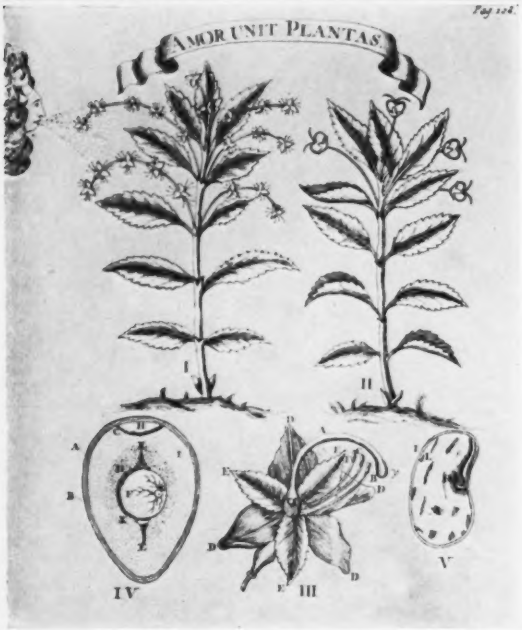


FIGURE 4 – *Représentation figurée de la conception linnéenne de la sexualité chez les plantes, publiée dans le premier volume des* Amoenitates Academicae (1749). *I et II: pollinisation par le vent; IV et V: rapprochement (d'ailleurs erroné) entre un œuf et une graine.*

C'est alors qu'il fit un saut en Angleterre pour voir les collections de Sir Hans Sloane et les jardins botaniques de Chelsea et d'Oxford. Philip Miller à Chelsea et J. J. Dillenius à Oxford, peu avenants au début, furent bientôt conquis par son enthousiasme et son affabilité. Mais l'impression que firent sur lui les Anglais en général ne fut guère favorable. Il écrivit par la suite «c'est une race que j'aime tout juste», ajoutant que Dillenius, né à Darmstadt, était le seul d'entre eux qui fût un véritable botaniste.

En 1738 Linné regagne la Suède en passant par Bruxelles et Paris, et s'établit à Stockholm. Les débuts sont difficiles, mais il se fait bientôt une clientèle dans l'entourage de la Cour et gagne l'amitié du Comte de Tessin, chef du parti des Chapeaux au Riksdag. Ceci lui vaut, outre des emplois rémunérateurs, le titre d'*Archiater* (médecin du roi) et plus tard celui de chevalier de l'ordre de l'Etoile polaire. Il fut aussi le premier président de l'Académie des Sciences.

A 34 ans il obtient le poste de professeur de médecine et de botanique à Upsal et se réjouit d'être délivré des corvées médicales de Stockholm. Désormais il peut enseigner, herboriser, étudier les plantes à sa guise. Il avait la passion du jardinage — autre héritage de son père — et mit le jardin botanique de son pays sur le même pied que ceux qu'il avait visités à l'étranger. Un moment il fut même son propre jardinier en chef. On lui permit de construire une orangerie et une maison officielle. Il s'acheta d'autre part une villa à Hammarby où il vécut en patriarche, entouré de sa famille, et où les étrangers le visitaient. Au début de sa carrière de professeur il parcourut la

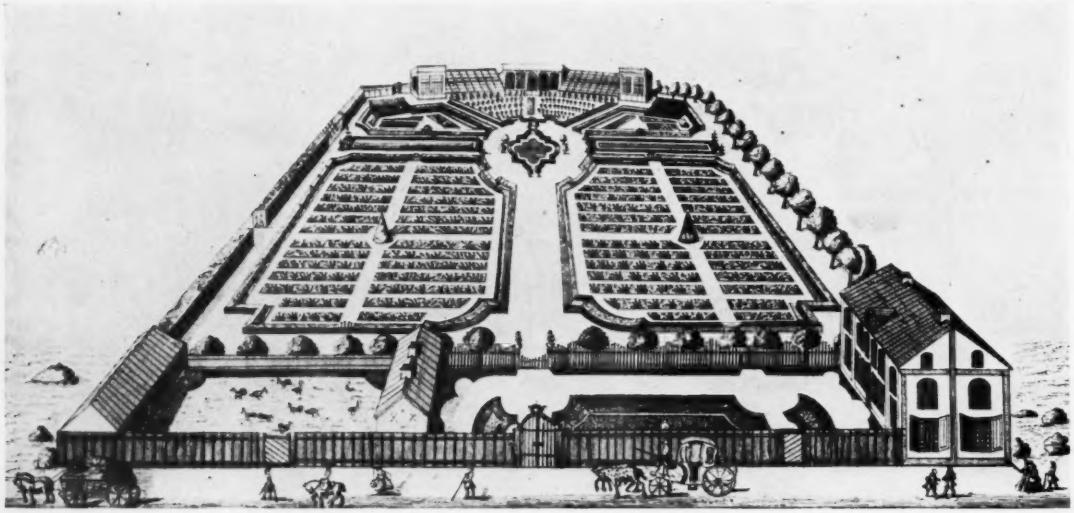


FIGURE 5 – *Le jardin botanique d'Upsal en* 1749. *Au fond, l'orangerie, et, au premier plan, à droite, la maison officielle de Linné. Reproduction d'une gravure contemporaine. Le jardin a été en grande partie restauré selon le plan primitif, et la maison est actuellement un musée des reliques personnelles de Linné.*

Suède en mission officielle; mais à partir de 1749 il se borna à des excursions organisées aux environs d'Upsal, accompagné de ses étudiants. Ces sorties eurent un succès considérable; il s'y pressait souvent une foule de deux ou trois cents personnes.

Linné était un personnage assez complexe, très soucieux de sa réputation. Il écrivit à diverses époques au moins quatre autobiographies et une *philosophia humana* qui n'a rien de frappant. Il composa un autre ouvrage, *Nemesis Divina*, censément pour l'instruction de son fils qui, disait-on, «s'occupait plus des nymphes que de Flore»; et c'est peut-être vrai que «personne plus que lui n'a écouté la clochette des trépassés». Il n'avait pas encore trente ans quand il formula, dans une communication technique sur la botanique, la question suivante: «Dans un monde où tout passe et s'efface, quel peut être le désir le plus cher de l'homme sinon de laisser après sa mort quelque œuvre honorable qui le fasse vivre, ne serait-ce que quelques jours, dans la mémoire de la postérité?»

C'est pour être lu qu'il se raconte et, tout en ayant la modestie que donne une position assurée, il a aussi la suffisance du succès. Il écrit par exemple: «*Linnaea*... humble, insignifiante, méprisée, de floraison éphémère, tout comme Linné lui-même». Comme César il parle de soi à la troisième personne. Il était devenu un potentat de la science; quand il créait des noms génériques d'après des contemporains (Rudbeckia, Dillenia, etc.) il avait le sentiment d'accorder à ceux-ci une faveur qui valait la particule de noblesse que le roi lui avait conférée.

Certains ont vu en Linné un moraliste aussi bien qu'un savant, et ont affirmé la valeur littéraire de ses curieux mélanges de suédois et de latin. Les lecteurs anglais pourront se rendre compte du décousu de son style dans l'élégante traduction que Sir Arthur Hort a faite des *Critica Botanica*.

Ce sont les travaux de Linné en taxonomie biologique qui constituent son apport à la science. Trois facultés maîtresses l'y prédisposaient: de l'ordre dans les idées, le don d'expression lucide et la certitude absolue qu'il entreprenait une œuvre capitale. Il disait lui-même qu'il était né pour créer des méthodes, et le premier il établit des diagnoses d'espèces végétales ou animales pour remplacer les descriptions faites sans aucune méthode. C'est cependant la troisième faculté qui lui servit le mieux, en lui ôtant tout doute quant à la sagesse de consacrer son temps, sa santé et ses ressources à la réalisation de son système de

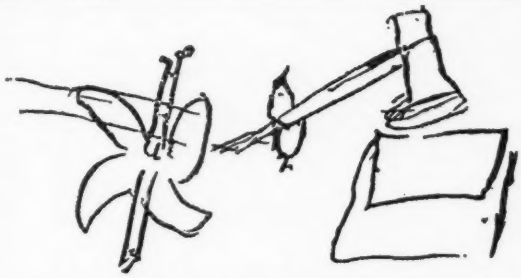


FIGURE 6 – *Dessin de Linné figurant dans le journal du voyage en Laponie et illustrant, assez médiocrement, le passage: «chaque rivière est pourvue d'une roue qui actionne un marteau à broyer le lin».*

la nature. Toute sa vie il travailla avec un acharnement qui, comme il le croyait lui-même, l'épuisa prématurément, et ses dix dernières années furent de plus en plus assombries par la maladie.

Ses contemporains, se rangeant à son propre avis, voient en lui un novateur; mais en réalité il y avait eu de nombreuses indications d'un changement imminent. Les grandes réputations ont toujours tendance à absorber les petites: cela s'est vérifié dans son cas, et l'on pourrait même ajouter qu'il a quelque peu activé le processus.

Linné a le premier fait un usage systématique de la nomenclature binôme: un nom générique latinisé suivi d'un adjectif désignant l'espèce. Il ne l'adopta d'ailleurs complètement qu'en 1753, quand son œuvre touchait à sa fin. Or, un siècle auparavant Gaspard Bauhin (1560–1624) avait dans son *Pinax* introduit quantité de ces binômes. Mais il y a un aspect plus important de la réforme linnéenne.

Les communications difficiles et l'absence de coordination avaient eu pour résultat inévitable d'alourdir l'histoire naturelle d'une foule de synonymes, et le zèle des collectionneurs, des botanistes et des zoologistes augmentait la confusion. Une même espèce recevait des noms différents, et l'on arrivait pas à s'entendre sur la manière de former les noms et de les attribuer à bon escient. Linné exposa sa méthode en une longue suite de maximes, très inégales au point de vue de la portée, et parvint à la faire accepter aux autres, souvent au prix de l'abandon de leurs propres travaux. Ces aphorismes sont encore à la base des règles internationales de nomenclature biologique; c'est sur eux bien plus que sur ses binômes que repose sa réputation.

Il s'en faut que la découverte de la classification soit le fait d'un seul homme. Les naturalistes du

XVIIe siècle avaient instinctivement groupé les espèces qui se ressemblaient et plus il se présentait de points de ressemblance plus, en toute logique, le groupement semblait naturel. Cependant, l'existence de ces groupes avait beau être apparente, il était absolument impossible d'y répartir toute la gamme des êtres vivants. On avait d'abord recherché un arrangement purement naturel, mais on en vint de plus en plus à adopter des caractères isolés choisis arbitrairement. Il s'ensuivit que la classification devint plus conventionnelle que naturelle.

Au début Linné utilisa la classification des végétaux proposée par Tournefort (1656–1708), laquelle est basée principalement sur les caractères de l'enveloppe florale et présente beaucoup de difficultés. Le système linnéen, fondé uniquement sur les organes sexuels est plus, sinon tout à fait, artificiel. Pour la classification les pistils et les étamines n'ont pas plus d'importance que les pétales, mais ils sont plus commodes. Pour ranger des plantes dans le système linnéen il suffisait de pouvoir compter jusqu'à vingt; aussi cela devint un passe-temps de demoiselles. Il est probable que Linné tout le premier se rendait compte qu'une classification naturelle ne pouvait se faire par des moyens artificiels, et il choisit à bon escient un système empirique parce qu'il n'en avait pas un plus rationnel à sa portée. Il a explicitement déclaré qu'il fallait continuer les recherches et a indiqué, quand il le pouvait, la voie à suivre. On attend encore, par exemple, une classification entièrement naturelle des plantes à fleurs. On peut ajouter à l'actif de Linné qu'en acceptant une base artificielle à titre temporaire il a donné à la taxonomie un temps de repos indispensable, et qu'en outre la notion de classification naturelle ne revêtait pas en son temps l'importance que l'évolution lui donna un siècle plus tard. Le problème des origines ne lui a pas échappé, mais il n'en a pas compris la portée.

Linné mit de l'ordre dans la confusion de son époque et prépara la voie à celle qui suivit, sans toutefois lui apporter rien de nouveau. Les rares fois qu'il se servit d'un microscope, ce fut sans beaucoup de succès; pourtant Hooke, Malpighi et Grew lui avaient donné l'exemple. Il ne semble pas s'être soucié de connaître la vraie nature des organismes, leurs structures intimes et leur physiologie.

L'année de la mort de Linné Gilbert White développa l'idée que «le botaniste ne doit pas se contenter d'une liste de noms: il doit faire une étude scientifique des plantes et des lois de la végétation». Il n'en est pas moins vrai que cent ans après la plupart des botanistes se contentaient encore du système linnéen qui, par son succès même, mit obstacle au progrès de la botanique. Peut-on le reprocher à Linné? Ce serait faire retomber sur le père les péchés des enfants!

Revue des livres

HISTOIRE DES SCIENCES

HOLMYARD, E. J.: *Alchemy*. Pp. 281. Penguin Books Limited, Harmondsworth. 1957. 3s. 6d.

On chercherait vainement un auteur mieux qualifié que le Dr. Holmyard pour présenter le sujet de l'alchimie. Sous son aspect le plus complet, c'est un sujet si complexe et si embrouillé et qui s'étend sur une période si longue de l'histoire, qu'il serait impossible de le traiter en entier dans un ouvrage comme celui-ci. L'auteur s'est donc judicieusement limité à l'alchimie exotérique. A l'inverse de l'alchimie ésotérique ou mystique, cette dernière s'occupait surtout d'idées et d'expériences pratiques destinées à la découverte de l'hypothétique pierre philosophale et à la réalisation consécutive de la transmutation ou multiplication, c'est-à-dire la fabrication artificielle de l'or et de l'élixir de vie apparenté. Le Dr. Holmyard a couvert ce terrain en 12 chapitres avec l'aisance et la profondeur habituelles. Les chapitres du début, sur l'alchimie grecque et islamique, sont empreints d'une force et d'une autorité particulières: cette partie du livre sera spécialement appréciée du savant et de l'érudit encore plus que du lecteur ordinaire. Pour le spécialiste, une documentation plus précise aurait accru la valeur de ce brillant exposé. Outre quelques figures dans le texte, on trouve un choix excellent de 36 planches agréables à regarder. Les éditeurs, qui n'ignorent rien non plus de l'art de la multiplication, ont collaboré ici avec l'auteur à produire un ouvrage extrêmement utile et agréable.

J. READ

MATHÉMATIQUES

FISHER, Sir Ronald A.: *Statistical Methods and Scientific Inference*. Pp. VIII + 175. Oliver and Boyd, Edimbourg. 1956. 16s.

R. A. Fisher est depuis longtemps le pionnier de l'établissement d'une théorie de la déduction scientifique basée sur la statistique. Même ceux qui ont étudié avec le plus de diligence les autres méthodes de raisonnement lui sont grandement redevables. Et pourtant, il faut parcourir des articles échelonnés sur une période de 35 ans pour suivre le progrès de la pensée de l'auteur, avec la difficulté supplémentaire de replacer chaque article dans le cadre de ce développement.

Les statisticiens accueilleront bien ce résumé des publications antérieures; les principes restent inchangés, mais

la présentation lumineuse et caractéristique de Fisher les relie aux méthodes statistiques modernes. Il insiste sur la différence entre la déduction appropriée à la recherche scientifique et celle demandée par les techniques d'acceptation et de décision, et montre avec une clarté remarquable la nature de la vraisemblance et de l'argument fiduciel. Un des exemples illustre particulièrement bien le rôle de la statistique accessoire. Les deux derniers chapitres exigent un certain raffinement mathématique chez le lecteur, mais tout expérimentateur scientifique étudiera les quatre premiers avec profit. La nécessité de se reporter aux articles précédents subsistera pour certains, mais la tâche sera considérablement allégée par cette étude. Seules, quelques remarques personnelles d'expression malheureuse déparent un ouvrage de valeur qui consolidera les notions actuelles et stimulera de nombreux perfectionnements théoriques et pratiques en statistique. D. J. FINNEY

PHYSIQUE

CRANK, J.: *The Mathematics of Diffusion.* Pp. VI + 347. Clarendon Press, Oxford; Cumberlege, Londres. 1956. 50s.

Ce livre ne traite pas de la théorie moléculaire de la diffusion et, comme le fait remarquer la préface, s'occupe en réalité des solutions mathématiques de l'équation de diffusion. Le sujet n'est pas nouveau et certains peuvent penser qu'il est épuisé; à vrai dire, il a fait des progrès importants ces dernières années et ce compte rendu arrive à point.

Les six premiers chapitres étudient les solutions des équations de Fick avec un coefficient de diffusion constant dans diverses conditions de séparation; la conversion de Laplace est utilisée constamment en plus des anciennes méthodes. Les chapitres suivants font une étude très détaillée de points plus complexes, tels que diffusion au travers d'une cloison mobile, diffusion et réaction chimique simultanées et systèmes à coefficient de diffusion variable. Le dernier chapitre s'occupe de la diffusion simultanée de la chaleur et de l'humidité; les problèmes reliés à la diffusion thermique ou simultanée de deux solutés réagissant mutuellement ne sont toutefois pas envisagés.

Tous ceux qui s'intéressent à ces questions trouveront le livre utile; l'étude des problèmes ayant trait aux coefficients variables de diffusion, en particulier, fait un exposé de grande valeur sur les travaux récents dans ce domaine. J. N. AGAR

UMEZAWA, H.: *Quantum Field Theory.* Pp. XIV + 364. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1956. 70s.

Etude très classique d'une question également classique. Comme on nous le fait remarquer, elle part du commencement mais n'est pas pour le débutant. Une bonne connaissance de la théorie des groupements et de la relativité est nécessaire; mais ce n'est pas une critique, car avec les prix prohibitifs actuels, la tendance à encombrer les ouvrages de matière superflue n'est pas désirable.

En élaguant sans merci, l'auteur a réussi à produire un traité vraiment complet dans un cadre relativement limité et l'exposé de l'équation ondulatoire relativiste, qui occupe les 100 premières pages, est particulièrement remarquable. Un peu plus de physique par la suite dans l'exposé de la véritable théorie des champs aurait animé les pages de mathématiques assez arides. Défaut plus sérieux: certains résultats sont donnés sans démonstration.

Positons et négatons sont parfaitement acceptables; mais pourquoi l'expression «champ propre» quand celle de «champ self» est beaucoup mieux appropriée et depuis longtemps acceptée? Mais ce sont là des points de détail dans une œuvre excellente qui restera classique pendant de longues années à venir. L. R. B. ELTON

BECKERLEY, James G., publié sous la direction de: *Annual Review of Nuclear Science*, Vol. V. Pp. IX + 448. Annual Reviews Inc., Stanford, Californie. 1955. $7.

Comme les précédents, ce 5e volume marie avec assurance physique, radiochimie et biologie. La série suit maintenant un plan accepté et les remarques générales sur les volumes antérieurs s'appliquent également bien à celui-ci.

Les connaissances sur la constitution nucléaire ont fait de grands progrès récemment et trois articles traitent du sujet de façon différente. Les exposés sur les instruments de physique nucléaire comprennent pour la première fois la chambre à bulles ainsi que le réacteur nucléaire comme outil de recherche. Fait surprenant et unique, les particules élémentaires ne figurent pas dans ce volume. La rapidité des progrès de la physique nucléaire est illustrée par le fait qu'en l'espace d'un an seulement ont paru l'anti-proton, le neutrino et l'anti-neutron.

Les articles sont de plus en plus spécialisés et le physicien est vite dépassé en chimie et en biologie. Néanmoins, la lecture de l'article sur l'extraction des éléments radioactifs de l'organisme mammifère s'impose. A travers le compte rendu impersonnel d'expériences sur les rats se dessinent les horreurs de la guerre nucléaire. L. R. B. ELTON

CHARPIE, R. A., HOROWITZ, J., HUGHES, D. J. et LITTLER, D. J., publié sous la direction de: *Progress in Nuclear Energy*, Série I: *Physics and Mathematics*, Vol. I. Pp. X + 398. Pergamon Press Limited, Londres. 1956. 84s.

C'est la Conférence de Genève sur les emplois pacifiques de l'énergie atomique qui donna l'élan initial à la série actuelle de revues sur la science nucléaire, dont ce volume est le premier à paraître. Le compte rendu de la conférence a déjà été publié; cette série le passe en revue et en fait la critique. La tâche est louable en soi, mais la nécessité d'une revue nouvelle d'ampleur vraiment gigantesque est discutable. De plus, on ne peut pas dire que le profane s'intéressera véritablement à ce volume qui dépassera même le spécialiste sur certains points.

Le titre est ambigu. L'ouvrage est parsemé de mathématiques comme il faut s'y attendre dans tout article de physique, mais il y a peu de tentatives de présentation logique de l'ensemble et, point assez irritant, certains aspects sont décrits en paroles plutôt qu'en symboles, ce qui n'aidera ni le mathématicien ni celui auquel les mathématiques ne sont pas familières. L. R. B. ELTON

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva. Vol. II, *Physics, Research Reactors.* Pp. 471; Vol. III, *Power Reactors.* Pp. 389; Vol. IV, *Cross-Sections Important to Reactor Design.* Pp. VIII + 357; Vol. V, *Physics of Reactor Design.* Pp. VIII + 545. Nations Unies, New-York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 57s., 54s., 54s., 63s. respectivement.

La Conférence Internationale sur les emplois pacifiques de l'énergie atomique tenue à Genève en 1955 mit au jour un stock considérable de connaissances techniques sur tous les aspects du sujet. Ces quatre volumes renferment

le compte rendu des sessions qui examinèrent, en grand détail, les connaissances actuelles sur la physique et l'étude des réacteurs nucléaires de tous genres. Les articles présentés et les discussions admirablement rapportées permettent de comparer les réalisations actuelles et les programmes des divers pays lancés dans ces recherches.

Prenant les volumes dans l'ordre, on constate que la première moitié du volume II contient des articles sur plusieurs sujets importants de physique nucléaire fondamentale, en particulier, physique de la fission et dispersion inélastique des neutrons. La seconde moitié traite de la construction et de l'expérience du fonctionnement d'un certain nombre de réacteurs de recherche. Les réacteurs décrits comprennent le type à piscine, les bouilleurs d'eau et le réacteur américain pour l'essai des tissus; les réacteurs modérés par l'eau lourde et légère de l'U.R.S.S., le réacteur Saclay de France, le J.E.E.P. de Norvège et le B.E.P.O. du Royaume-Uni. L'importance de ce type de réacteur pour aider à l'étude des réacteurs à haute puissance est bien soulignée.

Le volume III est nettement l'un des plus importants de la série, présentant le plan de tous les réacteurs puissants actuellement à l'étude. L'un des aspects les plus frappants est la grande diversité de tous les plans possibles d'installations destinées à un rendement plus économique. Naturellement, peu des réacteurs décrits fonctionnent en ce moment. Le réacteur à uranium enrichi de l'Union Soviétique, qui est refroidi à l'eau et tempéré au graphite ainsi que le réacteur américain à eau bouillante et le réacteur rapide EBR I refroidi au sodium-potassium sont les seuls dont le fonctionnement expérimental soit décrit. Il semble que ces trois réacteurs soient des installations expérimentales plutôt que des stations productrices d'énergie à grande échelle.

L'ensemble des articles du volume IV constitue une excellente revue des méthodes expérimentales de mesure des caractéristiques nucléaires des matériaux fissiles. Les diverses techniques «temps de vol», utilisant soit un couperet mécanique soit une source de neutrons pulsée, pour faire des mesures à l'aide de neutrons d'énergie connue, sont données en détail. La richesse de renseignements numériques place le volume parmi les ouvrages de référence les plus complets parus jusqu'ici sur le sujet. On note, dans de nombreux cas, une correspondance remarquable entre les valeurs citées pour des mesures similaires faites par les laboratoires américains, britanniques et russes.

Le volume V renferme les articles sur les problèmes de physique nucléaire liés à l'étude des réacteurs. Les cas étudiés comprennent les systèmes thermiques, intermédiaires et à neutrons rapides. Beaucoup d'articles traitent d'observations expérimentales faites sur les réacteurs et de leur interprétation théorique. Le manque de continuité entre les articles est peut-être plus apparent dans ce volume que dans les autres. Mais ce défaut est compensé par l'avantage de trouver réunie en un seul volume une vaste documentation expérimentale sur la physique des réacteurs.

J. E. R. HOLMES

CHIMIE

SCHUMB, W. C., SATTERFIELD, C. N. et WENTWORTH, R. L.: *Hydrogen Peroxide*. Pp. XIII + 759. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 132s.

Les applications toujours plus nombreuses de l'eau oxygénée ont encouragé fortement l'étude de sa fabrication et de ses propriétés. On ne s'étonne donc pas que le premier volume complet en anglais sur le sujet paraisse à l'heure actuelle. Les auteurs sont particulièrement bien qualifiés pour cette tâche, ayant fait des apports de valeur sur la question.

L'intéressante introduction historique est suivie de deux chapitres développés sur les méthodes de production et de fabrication. Cet exposé est assez détaillé, mais il semble que beaucoup ait été emprunté aux méthodes allemandes connues. Le procédé d'autoxydation, employé maintenant dans l'industrie, est indiqué, mais l'ouvrage parut avant la diffusion d'une nouvelle méthode organique de production basée sur l'oxydation de l'alcool isopropyle.

Les propriétés physiques et chimiques sont particulièrement bien traitées. Les renseignements donnés sur les propriétés physiques et thermodynamiques sont bien choisis et l'effet sur les radiations est étudié assez en détail. L'un des chapitres est presque entièrement consacré à la structure du corps, tandis qu'un autre discute le mécanisme de réaction et esquisse les réactions avec les composés organiques et minéraux. La portée de la partie analytique est assez limitée et les emplois du peroxyde sont brièvement décrits, applications dans le domaine de la propulsion comprises.

L'ensemble est agréablement présenté et il semble que le volume sera l'ouvrage classique de référence sur la question pendant plusieurs années.

W. S. WOOD

BEYER, Hans: *Lehrbuch der organischen Chemie* (3e/4e édition). Pp. XVII + 690. S. Hirzel Verlag, Leipzig. 1955. DM. 22,50.

Cette nouvelle édition entièrement revue d'un manuel général de chimie organique s'intéresse particulièrement aux théories électroniques des mécanismes de réactions.

Les réactions sont classées dès le début (dans le chapitre des halogénures d'alcoyles); celles des oléfines amènent l'étude des liaisons π; la polymérisation est présentée comme un phénomène rationnel; les apports récents de la recherche et de la technologie allemandes reçoivent la considération qu'ils méritent. Les pétroles, les plastiques, la stéréochimie, la chimiothérapie, les coenzymes, le cycle de l'acide citrique, les alcaloïdes sont tous traités avec compétence. Le choix de la documentation présentée a été si habile qu'on s'étonne tout d'abord de l'étendue du terrain traité. Mais il y a, sur certains points, des omissions regrettables; les caroténoïdes, par exemple, sont traitées en quatre pages grâce à l'omission de l'étude des dégradations, des synthèses et même de la couleur. Il y a aussi un manque d'uniformité gênant dans la méthode d'impression des formules de composés cycliques. Citons seulement l'exemple de la naphthaquinone (p. 431), où manquent les atomes de carbone, tandis que l'on trouve des groupements C=O exagérés attachés à l'anthraquinone (p. 436). Mais l'impression générale est celle d'un tableau captivant de l'étendue de la chimie organique et, surtout, de ses triomphes récents.

Le style est clair et l'impression de bonne qualité. Le livre offrira des aperçus intéressants à l'étudiant avancé.

J. C. SMITH

TODD, Sir Alexander, publié sous la direction de: *Perspectives in Organic Chemistry*. Pp. X + 527. Interscience Publishers, New-York et Londres. 1956. 55s.

Cet hommage offert à Sir Robert Robinson à l'occasion de ses 70 ans est fait de 18 essais par les autorités les plus compétentes d'Europe et d'Amérique,

qui comptent beaucoup d'anciens disciples du savant. Mais c'est beaucoup plus qu'une publication commémorative habituelle. Le domaine de la chimie organique s'est si étendu au cours du xxe siècle qu'il est probable qu'aucun chimiste de l'avenir ne possédera une connaissance aussi profonde du sujet que Sir Robert, ni ne jouera un rôle aussi important et décisif dans son développement.

Il est impossible de citer tous les sujets traités; disons seulement que l'ensemble de la chimie organique moderne est presque entièrement présentée et que le but de l'ouvrage n'est pas tellement, comme l'indique E. L. Hirst, «de faire l'inventaire des progrès réalisés dans un domaine devenu statique que de signaler certains points de croissance et la nature générale des problèmes à résoudre».

Les alcaloïdes, les théories de la biosynthèse, les stéroïdes, les notions d'aromaticité, de résonance et les mécanismes de réactions sont tous présentés avec une clarté qui sera appréciée pendant de longues années à venir. Il est peut-être désobligeant de faire un choix, mais la «Synthèse» de Woodward est certainement remarquable par son élégance et par son insistance sur les méthodes d'approche concertées se rapportant spécialement aux procédés sélectifs modernes et aux réactifs. Todd sur les acides nucléiques, Butenandt sur la génétique, Ziegler sur les synthèses métallo-organiques et Pauling sur la résonance ont tous écrit des articles captivants.

I. M. HEILBRON

VOGEL, Arthur I.: *A Textbook of Practical Organic Chemistry, including Qualitative Organic Analysis* (3e édition). Pp. xxvii + 1188. Longmans, Green and Company Limited, Londres. 1956. 60s.

Le texte de cette nouvelle édition a été entièrement revu et il y a un chapitre de plus sur la semi-microtechnique. Un supplément de 16 pages est consacré à la spectroscopie infrarouge et ultraviolette. Chaque page porte maintenant le numéro du chapitre et de la section, ce qui facilite grandement les renvois d'une section à l'autre. L'ouvrage réussit à faire un exposé clair et complet des méthodes de la chimie organique en un seul volume, mais l'absence totale de références aux sources multiples du texte diminue son utilité.

L'analyse qualitative est traitée avec autorité mais un écart du texte de la seconde édition pourrait induire en erreur. A la page 1041, on recommande dans la recherche d'azote en présence de soufre, d'éliminer par filtration le précipité de sulfure ferreux avant d'acidifier le filtrat. Or, l'expérience prouve qu'avec cette méthode le ferrocyanure disparaît en général avec le sulfure. Le nombre d'erreurs est infime et le style et la présentation sont excellents. Tout laboratoire de chimie fera bien de se le procurer. J. C. SMITH

BJORKSTEN, J., TOVEY, H., HARKER, B. et HENNING, J.: *Polyesters and their Applications*. Pp. viii + 618. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 80s.

Il est sans précédent que la bibliographie débute à la page 253 dans un ouvrage de plus de 600 pages. Les auteurs et leurs collaborateurs ont classé ici un millier de titres de brevets sur le sujet et deux fois plus de renvois à des articles et livres techniques. L'accumulation de toute cette documentation est la raison d'être du volume et permettra un gain de temps considérable.

Une simple introduction à l'ensemble de la chimie des polymères est suivie d'une revue générale des méthodes de manufacture et de transformation. La place d'honneur est occupée par les polyesters non-saturés qui ont un tonnage bien supérieur à celui des composés saturés dont le débouché principal consiste en fibres filées après fusion.

Les marchés ouverts aux polyesters non-saturés, principalement sous la forme de résines renforcées prises à la chaleur, sont très divers et favorables aux opérations limitées. Le fait est mis en évidence par les chapitres sur les mastics, le façonnage et la finition et par une revue des résines commerciales qu'on trouve sur le marché, suivis d'un intéressant chapitre sur la taille des polyesters. Le bilan du coût peu élevé des matières premières et de l'outillage et du prix relativement fort de la fabrication détermine le choix des applications. On aurait aimé trouver ici une étude de l'aspect économique du sujet. C. I. RUTHERFORD

GÉOPHYSIQUE

BLACKETT, P. M. S.: *Lectures on Rock Magnetism*. Pp. 131. The Weizmann Science Press of Israel, Jérusalem. 1956. $5.

La propriété remarquable de nombreuses roches d'avoir conservé la marque du champ magnétique dominant à l'époque de leur formation a soulevé un intérêt considérable. L'auteur a fait d'importantes contributions au sujet en perfectionnant le magnétomètre astatique et en prenant la tête d'un groupe actif de chercheurs sur la question. Cette étude des résultats obtenus jusqu'ici stimulera l'esprit. Mais, comme la science du magnétisme des roches rencontre en divers points des branches complètement différentes de la physique et de la géologie, telles que la paléoclimatologie, la physique de l'écorce terrestre et la théorie du ferromagnétisme, les spécialistes de ces questions ne seront pas entièrement satisfaits de l'exposé du Professeur Blackett.

Il y a peu de renseignements, par exemple, sur les signes du déplacement des pôles bien qu'ils soient mieux établis que ceux que l'on possède actuellement de la dérivation des continents. De plus, le traitement statistique des résultats, pourtant essentiel si l'on veut comparer des roches de provenances diverses, est écarté sous prétexte «qu'il donnerait une fausse impression d'exactitude». Les résultats obtenus dans l'étude du grès triassique anglais par le groupe de recherche en question sont démontrés à l'aide d'histogrammes et de polygones radiaux d'inclinaison et de déclinaison alors que l'emploi de la projection stéréographique bien connue aurait été préférable.

La discussion des conclusions tirées de l'étude des dykes sud-africaines de Pilansberg pourrait induire en erreur. En effet, ces résultats obtenus par Gough sont comparés à ceux du groupe dirigé par l'auteur sur les roches triassiques de France et de Grande-Bretagne et prouveraient que l'Afrique et l'Europe ont dérivé ensemble. Or, les dykes de Pilansberg sont nettement antérieures au Permien et sont peut-être même précambriennes, alors que l'auteur estime leur âge à 300 ou 400 millions d'années, près du double de l'âge des roches britanniques et françaises auxquelles il les compare.

S. K. RUNCORN

BIOCHIMIE

GREEN, David E., publié sous la direction de: *Currents in Biochemical Research*, 1956. Pp. xvi + 697. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Limited, Londres. 1956. $10.

Ce volume est le troisième d'une série d'essais à laquelle a travaillé le rédacteur actuel. Elle débuta en 1936 par un ouvrage intitulé *Perspectives in Biochemistry*, publié sous la direction du Dr. Green et du Dr. Joseph Needham. Le second volume fut présenté par le Dr. Green en 1946. Le succès énorme de ces volumes encouragea rédacteur et éditeurs à rassembler les matériaux d'une nouvelle série au bout d'un second intervalle de 10 ans. L'intention est «de donner au profane une impression d'ensemble de l'état actuel des problèmes significatifs dans chaque branche de la biochimie, d'indiquer la stratégie générale de la recherche moderne et ses développements possibles à l'avenir». Le Dr. Green s'est assuré la collaboration de 27 chimistes distingués, dont M. Calvin, B. Chance, C. F. Cori, L. F. Leloir, F. Lipmann, D. Nachmansohn, E. Racker, F. Sanger, D. Shemin, S. Spiegelman et H. Theorell, et a lui-même écrit la préface où il expose les succès et les tendances de la biochimie contemporaine. Les essais sont certainement d'un niveau égal à ceux des volumes précédents. Leur lecture sera extrêmement instructive et stimulante pour le spécialiste de ces questions et pour le scientifique occupé à d'autres problèmes, qu'il soit biochimiste ou non.

H. A. KREBS

BOTANIQUE

DARLINGTON, C. D.: *Chromosome Botany*. Pp. XII + 186. George Allen and Unwin Limited, Londres. 1956. 16s.

Le Professeur Darlington n'ignore pas que la botanique enseignée dans les écoles et les universités est étouffée par un aride formalisme. Le fait n'est que trop visible dans les questions d'examens dont bon nombre auraient aussi bien pu être posées il y a un siècle. La situation en botanique rappelle celle décrite par Newman à propos d'une autre discipline: «Nous possédons un vaste héritage dont nous avons à faire l'inventaire; nos richesses sont immenses mais nous ne savons pas nous en servir: il faut cataloguer, ordonner, répartir, choisir, harmoniser et compléter. Nous avons trop de connaissances mais pas assez de faits précis et utilisables».

Ce livre de Darlington sur la botanique des chromosomes est très important en ce qu'il essaie de coordonner les faits connus sur le comportement des chromosomes et offre à l'étudiant un point de vue entièrement nouveau et équilibré sur les aspects fondamentaux de la botanique pure et appliquée. Cette synthèse très nécessaire influencera peut-être un jour l'enseignement du sujet dans les écoles et Universités.

Nous n'avons certes pas là une œuvre parfaite. L'auteur passe souvent son temps à accabler de lourds sarcasmes des taxologues classiques qui n'en peuvent mais, et qui somme toute ne méritent pas un tel traitement. Les généticiens ne seront pas tous d'accord sur le «polygène» tel qu'il est défini à la page 4. «Les polygènes sont» paraît-il «parfois reconnaissables; dans le noyau au repos, ils portent une couche épaisse d'acide nucléique et à la métaphase, ils peuvent subir des conditions inverses de nudité ou manque d'acide nucléique. Ils sont connus sous le nom d'hétérochromatine». Ces déclarations dogmatiques gâtent quelque peu l'ouvrage, mais c'est le prix qu'il faut payer pour une œuvre géniale. Souhaitons que les étudiants soient de cet avis.

S. C. HARLAND

GODWIN, H.: *The History of the British Flora*. Pp. VIII + 384. Cambridge University Press, Londres. 1956. 90s.

Le livre se propose de décrire les méthodes dont on dispose pour l'étude historique de la flore britannique et les résultats obtenus jusqu'ici, surtout en ce qui concerne l'ère quaternaire. Après un bref exposé des matériaux disponibles — graines, fruits, feuilles, bois (parfois sous forme de charbon de bois) et grains de pollen — l'auteur aborde la discussion de la chronologie quaternaire. L'emploi et la corrélation des méthodes biologiques, archéologiques et physiques (radiocarbone) de mesure de l'âge sont étudiés en détail et critiqués, et l'importance de la stratigraphie des tourbières comme index des conditions dominantes est soulignée.

Ces chapitres de fond sont suivis d'une liste détaillée de plantes faisant l'historique de plus de 700 espèces, dont les céréales et autres plantes de récolte. La quantité de renseignements qu'il est possible de fournir (à en juger par la longueur de chaque notice) semble être en rapport avec l'abondance du pollen produit par chaque espèce — ce qui prouvé l'importance primordiale de la palynologie dans ce domaine. On trouve finalement le tableau des changements de la végétation des Iles Britanniques durant les vicissitudes de l'ère quaternaire avec ses glaciations et périodes interglaciaires successives jusqu'au Moyen Âge.

L'ouvrage insiste tout au long sur les preuves directes fournies par des emplacements appropriés. L'intention de l'auteur est d'évaluer les connaissances acquises et il se garde naturellement des conclusions prématurées.

Le texte est imprimé en doubles colonnes sur grand format et est abondamment illustré de belles figures et tableaux en demi-teintes.

W. O. JAMES

ZOOLOGIE

CAMERON, Thomas W. M.: *Parasites and Parasitism*. Pp. XIX + 322. John Wiley and Sons Inc., New-York; Methuen and Company Limited, Londres. 1956. 35s.

Comme l'indique l'auteur, ce livre n'est pas un manuel de parasitologie médicale ou vétérinaire. Selon lui, l'idée de maladie empêche trop souvent d'apprécier la vraie nature du parasitisme et il essaie ici de remettre les choses au point. Le lecteur devra avoir des notions de biologie mais pas de connaissances spéciales en parasitologie. La première partie s'occupe des bactéries, champignons, spirochètes, rickettsies, virus et protozoaires; la seconde, des cœlentérés, cestodes, trématodes et ascarides lombricoïdes; la troisième, des annélides, arthropodes, mollusques et des quelques vertébrés qui ont adopté le parasitisme. Le reste du livre traite de l'hôte et de ses réactions, du parasitisme, des maladies infectieuses, de la répartition des parasites, de leur destruction, leur spécificité d'hôte et leur évolution. L'ouvrage se termine par une bibliographie, un glossaire, une esquisse de la classification zoologique des parasites et un index.

Le texte bien rédigé stimule la pensée. On ne sera peut-être pas d'accord avec l'auteur sur certains points mais n'oublions pas que son opinion résulte de travaux originaux prolongés et de longues années d'enseignement. La présentation est agréable et les dessins nouveaux et instructifs augmentent considérablement la valeur du livre.

G. LAPAGE

SNODGRASS, R. E.: *Anatomy of the Honey Bee*. Pp. XIV + 334. Cornell University Press, New-York; Constable and Company Limited, Londres. 1956. $6.

Le premier ouvrage de l'auteur sur l'anatomie de l'abeille domestique

parut en 1910 parmi les premiers Bulletins Techniques du Département de l'Agriculture des Etats-Unis. Un grand nombre des admirables figures de ce volume reparaissent ici. En 1925 l'œuvre reparut développée sous le titre *The Anatomy and Physiology of the Honey Bee* et, en plus de son excellent exposé sur l'abeille, servit d'introduction pendant de longues années à la physiologie des insectes en général, rendant d'immenses services. Le livre actuel a été virtuellement refait. Il traite maintenant presque exclusivement de questions de structure anatomique avec la maîtrise à laquelle on est habitué de la part du doyen des entomologistes anatomistes. Comme toujours, Snodgrass s'intéresse constamment au fonctionnement des organes décrits, mais il reste peu de physiologie à proprement parler et ce reste n'est pas toujours conforme aux idées actuelles. Sur son véritable sujet, l'anatomie de l'abeille, l'ouvrage est, semble-t-il, admirablement à jour et il y est même fait mention d'ouvrages publiés en 1956.

V. B. WIGGLESWORTH

GRASSÉ, P.-P., publié sous la direction de: *Traité de zoologie*, Vol. XVII. *Mammifères. Les ordres: anatomie, éthologie, systématique.* Partie I, pp. 1 + 1170; Partie II, pp. 1171–2300. Masson et Cie, Paris. 1955. Partie I: broché, 11 000 fr; relié, 11 800 fr. Partie II: broché, 11 000 fr; relié, 11 800 fr.

La difficulté d'écrire un bon traité de zoologie devient particulièrement évidente lorsqu'on arrive aux Mammifères et à l'Homme, car les sources d'information sont si diverses. La preuve du succès du Professeur Grassé et de ses collègues réside surtout dans le fait que l'œuvre se lit aisément. Le texte a de la fraîcheur et de la concision; la typographie et les illustrations sont excellentes. On retrouve avec plaisir la documentation ancienne dans un cadre nouveau, mais augmentée de nombreuses additions. L'ouvrage montre clairement que les faits de la vie animale peuvent être présentés à partir de l'anatomie. Le plan suit un arrangement morphologique bien connu puisqu'il fut adopté par Cuvier, Owen, Gegenbaur et Goodrich, pour ne citer que quelques noms. Avec une esquisse de l'organisation de chaque type animal comme point de départ, il devient possible de relier toute une masse de faits sur la physiologie, la reproduction, la bionomie et le comportement des animaux. J. Z. YOUNG

MÉDECINE

British Medical Bulletin, Vol. XII, N° II (*Neuro-otology*). Pp. 91–160. The British Council, Londres. 1956. 15s.

Pour citer l'introduction de Sir Bryan Matthews: «Ce numéro du Bulletin démontre clairement l'activité des recherches otologiques et leur utilité». Des articles d'autorité sur des sujets variés tels que la technique à suivre dans les coupes histologiques de l'oreille interne, la formation et la composition chimique de l'endolymphe et de la périlymphe, la physiologie de l'ouïe et de l'appareil vestibulaire, le diagnostic et le traitement des diverses sortes de surdité, la pathologie et symptomatologie des désordres du labyrinthe et des connexions centrales du 8e nerf ainsi que les lésions héréditaires du labyrinthe chez les «souris dansantes» ont été publiés sous la direction de C. S. Hallpike, qui est lui-même l'auteur, entièrement ou en partie, de quatre des articles.

On insiste naturellement dans la plupart des cas sur les applications cliniques des découvertes récentes, mais les physiologistes, pathologistes, anatomistes et zoologistes accueilleront cette revue de valeur du sujet avec non moins d'intérêt que les otologistes et les neurologues. R. S. CREED

SHOLL, D. A.: *The Organization of the Cerebral Cortex.* Pp. XVI + 125. Methuen and Company Limited, Londres; John Wiley and Sons Inc., New-York. 1956. 18s.

On a plaisir à lire un exposé aussi clair et concis de la substance corticale du cerveau. Il y a naturellement beaucoup d'omissions et de parties condensées, mais l'ouvrage n'est pas superficiel. Le Dr. Sholl s'est limité tout au long aux aspects de la substance corticale lui paraissant essentiels à la compréhension de son fonctionnement. Il est intéressant d'avoir l'opinion bien informée de l'auteur sur les anciens travaux concernant la topographie du cerveau. Le livre tout entier, d'ailleurs, est remarquable par la qualité de ses critiques. L'aspect constructif est moins unique. En effet, la nouvelle histologie quantitative nous semble encore trop rudimentaire pour permettre des hypothèses précises sur l'activité corticale. Mais c'est un début prometteur et le chapitre 4 fait un exposé de valeur des travaux du Dr. Sholl sur la «quantification de la connectivité neuronale».

Les chapitres sur les recherches physiologiques, cliniques et psychologiques offrent de bons résumés mais paraîtront insuffisants aux spécialistes. La plupart des neurophysiologistes, par exemple, voient dans les synapses des édifices particulièrement adaptés au fonctionnement d'émetteurs chimiques et non caractérisés simplement par la juxtaposition de deux structures nerveuses. De même, il n'y a maintenant aucune raison de supposer que l'interaction neuronale se produise au moyen de champs électriques et l'hypothèse du «domaine» de Cragg et Temperley n'a ainsi aucun fondement expérimental sûr. La théorie voisine de Beurle ne se prête pas à cette critique et illustre parfaitement la thèse de l'auteur selon laquelle il serait bon de traiter le fonctionnement de la substance corticale comme un modèle basé sur un concept de probabilité et de l'étudier en termes statistiques. J. C. ECCLES

BAUER, K. Fr., publié sous la direction de: *Ergebnisse der medizinischen Grundlagenforschung*, Vol. I. Pp. VI + 855. George Thieme Verlag, Stuttgart. 1956. DM. 129.

Cette courte monographie fait partie d'une série nouvelle traitant des questions scientifiques se rapportant à la médecine. Selon le rédacteur, les revues ordinaires s'adressent en premier lieu au spécialiste et ignorent souvent les besoins du clinicien: la série actuelle se propose de présenter des articles compréhensibles aux chercheurs en médecine sans connaissances spéciales des sciences fondamentales. Le volume renferme 19 articles. Les sujets sont extrêmement variés, allant de la biochimie à la biophysique en passant par l'allergie, l'embryologie, l'histologie, la nutrition, l'endocrinologie et la bactériologie. La morphologie est représentée par une étude générale de Ashton et Zuckerman intitulée *Measurement and Number in Morphology.* La plupart des auteurs sont allemands mais la Suède, la Suisse, le Japon, la France, la Grande-Bretagne et les Etats-Unis y ont aussi participé. Les articles sont tous publiés en allemand. Beaucoup d'entre eux réalisent les intentions de K. Fr. Bauer et rendront certainement grand service aux chercheurs en médecine. H. A. KREBS

MEETHAM, A. R.: *Atmospheric Pollution —Its Origins and Prevention* (2e édition). Pp. VIII + 302. Pergamon Press Limited, Londres. 1956. 63s.

Les effets néfastes de la pollution atmosphérique retiennent maintenant beaucoup plus l'attention qu'au moment de la parution de ce livre. La seconde édition essaie de le mettre à jour considérant les nombreuses conférences tenues en Grande-Bretagne et en Amérique et les comptes rendus du Comité de la Pollution de l'Air nommé par le gouvernement britannique.

Un nouveau chapitre de 32 pages traite des découvertes récentes. Pour sa taille, l'ouvrage est ambitieux. Toutes les questions reliées au sujet sont traitées — source des combustibles et disponibilités; propriétés du bois, de la tourbe et de tous les membres de la famille du charbon à l'état brut et préparé; aléas des exploitations minières, pétrole et gaz naturel; carbonisation et hydrogénation; production de vapeur et d'électricité; fourneaux industriels et domestiques — avant l'étude du sujet principal dans tous ses détails. L'auteur a réussi à faire un tout de cette masse énorme d'information en soulignant clairement les principes et en limitant la partie descriptive.

Il admet franchement avoir fait appel à son propre jugement et à son imagination dans le nouveau chapitre plus souvent que dans les autres. Son explication physique de la formation du brouillard londonien néfaste de décembre 1952 est certainement ingénieuse. Il envisage un rectangle de 1100 km² environ recouvert d'une couche d'air de 150 m d'épaisseur. Ses évaluations et calculs de la quantité d'eau et de vapeur d'eau renfermée dans la couche, de la quantité perdue et acquise, de l'accumulation de fumée, de soufre, d'halogènes et d'oxydes de carbone et de la toxicité résultante méritent d'être étudiés de près, même si les valeurs numériques diffèrent probablement de la réalité invérifiable.

R. LESSING

CHIMIE INDUSTRIELLE

DE ONG, E. R.: *Chemistry and Uses of Pesticides* (2e édition). Pp. VII + 334. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 70s.

L'industrie chimique offre maintenant un choix presque déconcertant de substances toxiques à l'usage de ceux qui s'occupent de la prévention ou de l'extermination des fléaux, qu'ils soient insectes, végétaux (plantes ou champignons) ou rongeurs. On a donc besoin de livres faisant autorité sur la nature, l'emploi et les dangers de ces produits. C'est exactement ce que fait l'ouvrage du Dr. de Ong. Et comme elles dépendent étroitement des conditions climatiques, des disponibilités en personnel expérimenté etc., les méthodes employées peuvent varier grandement d'une partie du monde à l'autre. Il n'est donc pas étonnant que l'auteur se soit limité dans une grande mesure aux conditions existant aux Etats-Unis pour la formulation et l'emploi des «pesticides». Il traite successivement des produits minéraux, pétroliers et de leurs solvants, des fumigants, des toxiques d'origine végétale et des composés organiques synthétiques plus récents. Un dernier chapitre traite brièvement de l'emploi du «froid, de la chaleur, de la déshydratation et des radiations». L'utilisation directe des radiations bêta et gamma par les radioisotopes et les appareils à haute tension n'est cependant pas étudiée. On trouve en annexe le tableau et le classement de quelque 400 produits en vente aux Etats-Unis. L'ouvrage se termine par un chapitre sur les quantités de résidus d'insecticides tolérables dans les denrées alimentaires et un autre sur les soins d'urgence en cas d'intoxication des opérateurs. Il rendra service aux étudiants d'agriculture pratique et à tous ceux que la question intéresse.

F. P. W. WINTERINGHAM

TREIBS, W. et BOURNOT, K., publié sous la direction de: *Die ätherischen Öle* (*Gildemeister-Hoffmann*), Vol. IV. Pp. XXXII + 720. Akademie-Verlag, Berlin. 1956. DM. 55.

Ce volume fait partie de la 4e édition du manuel bien connu de E. Gildemeister et F. Hoffmann. Le nombre d'espèces végétales connues possédant des essences atteint maintenant 2400 environ (au lieu de 1370 seulement en 1931). Cet accroissement et le perfectionnement des méthodes d'extraction et d'identification des essences font que la nouvelle édition compte maintenant 7 gros volumes.

Le volume IV décrit les essences relativement rares de cryptogames et aborde l'étude de celles, beaucoup plus nombreuses, des plantes à graines. L'essence de térébenthine et autres huiles essentielles de conifères sont traitées à fond, ainsi que les essences volatiles de près de 40 familles de dicotylédones. On trouve parmi ces dernières les essences techniquement importantes d'herbes parfumées (palmarosa, schénanthe, citronnelle etc.) et celles de l'iris, du gingembre, du santal, de l'anis étoilé et de la muscade.

L'étude est très détaillée et on note l'excellence de la disposition du texte, des caractères et des index. Une fois complète, la série maintiendra certainement la tradition des monographies originales classiques de Gildemeister et Hoffmann.

T. P. HILDITCH

MÉTALLURGIE

NORTHCOTT, L.: *Metallurgy of the Rarer Metals, No. 5, Molybdenum*. Pp. XII + 222. Butterworth's Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New-York. 1956. 40s.

Le molybdène a été surtout employé jusqu'ici dans la composition de certains alliages ferreux et, application secondaire, à l'état pur sous la forme de filaments de lampes radio-électriques, etc. La mise au point de nouveaux procédés de travail sur les métaux à point de fusion élevé, toutefois, permet d'entrevoir un champ d'application beaucoup plus vaste. Ce livre fournit une documentation des plus utiles en vue de ces applications sur les propriétés mécaniques, physiques et chimiques du métal. Il suit le plan général adopté dans les autres volumes de la série. On trouve des chapitres sur l'extraction et le raffinage du molybdène, les propriétés physiques et mécaniques générales du métal pur et de ses alliages, sa fabrication, sa fusion à l'arc et les méthodes diverses de raccordement. Les possibilités d'alliage du corps sont clairement présentées et l'exposé renseigne sur la structure de 32 alliages binaires et de divers alliages ternaires. L'oxydation du métal pur et de certains alliages est étudiée en même temps que les méthodes actuelles de protection. Il y a aussi de bonnes bibliographies.

B. W. MOTT

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages en question.)

ROSE, Arthur et Elizabeth: *The Condensed Chemical Dictionary* (5e édition). Pp. XIX + 1200. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 100s.

Ce bon ouvrage de référence sera utile à tous les chimistes, mais plus particulièrement à ceux du commerce et de l'industrie. Il renseignera très à fond sur les propriétés, la dérivation, les emplois et la désignation usuelle d'un grand choix de produits chimiques commerciaux. Il faut noter que certains renseignements, tels que ceux sur la spécification, les récipients et les règlements de l'expédition concernent l'Amérique en particulier. Cette nouvelle édition est nettement plus volumineuse que la 4e, parue en 1950, et a été entièrement revue et modernisée.

LEICESTER, H. M.: *The Historical Background of Chemistry*. Pp. VIII + 260. John Wiley and Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 48s.

Le livre insiste relativement peu sur les biographies des grands chimistes et s'occupe beaucoup plus du développement et de la corrélation des concepts chimiques. Bien qu'une bonne partie de l'ouvrage soit consacrée à la période précédant l'avènement scientifique de la chimie, les derniers chapitres traitent des temps modernes et comptent l'étude de la radioactivité et de la constitution de l'atome ainsi que de la biochimie.

GOLD, Victor: p*H Measurements. Their Theory and Practice*. Pp. 125. Methuen and Company Limited, Londres; John Wiley and Sons Inc., New-York. 1956. 9s. 6d.

Cette nouvelle monographie de la série bien connue de Methuen sur des questions de chimie expose la théorie fondamentale du *p*H et des méthodes principales de mesure. On trouve un chapitre sur le concept du *p*H par rapport aux solvants non-aqueux. Le livre s'adresse au scientifique non spécialisé et n'exige pas de connaissances détaillées sur la théorie physico-chimique.

BRITTON, Hubert T. S.: *Hydrogen Ions. Their Determination and Importance in Pure and Industrial Chemistry*. Vol. II (4e édition). Pp. XIX + 489. Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 75s.

Ce volume offre au chimiste spécialiste une étude détaillée du rôle des ions d'hydrogène en chimie et dans un certain nombre d'opérations industrielles importantes tels que le tannage, le raffinage du sucre, la purification de l'eau et la flottation des minerais. Addition importante depuis la 3e édition de 1942: la description des méthodes électrométriques de titrage des acides et des bases dans des milieux non-aqueux.

WOLSTENHOLME, G. E. W. et MILLAR, Elaine, publié sous la direction de: *Paper Electrophoresis*. Pp. XII + 224. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1956. 35s.

Compte rendu d'une conférence de trois jours sur l'électrophorèse sur papier organisée par la Fondation Ciba à Londres en juillet 1955. Les articles présentés furent généraux — sur les techniques utilisant la haute tension, par exemple — ou spécialisés. On insista particulièrement tout au long sur l'identification des facteurs causant les différences de résultats obtenus dans divers laboratoires, afin de permettre des comparaisons exactes.

PEAKE, Harold et FLEURE, H. J.: *Times and Places*. Pp. XV + 336. Clarendon Press, Oxford; Cumberlege, Londres. 1956. 42s.

Ce volume est le 10e et le dernier de la série intitulée *Corridors of Time*, qui relate l'évolution humaine depuis ses débuts jusqu'aux civilisations méditerranéennes classiques. Un cinquième environ du livre traite de travaux assez récents sur l'homme paléolithique. La seconde partie s'occupe de l'origine et de la diffusion des méthodes de production alimentaire.

CHAUVIN, Rémy: *Physiologie de l'insecte* (2e édition). Pp. 917. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris. 1956. 3500 fr.

Le texte de cette seconde édition a été entièrement revu par l'auteur et augmenté de quelque 300 pages; la bibliographie a maintenant près de 2800 titres. La révision des chapitres sur le tégument, la mue, la diapause et les hormones sexuelles a été particulièrement minutieuse.

HUGH-JONES, E. M.: *Automation in Theory and Practice*. Pp. IX + 140. Basil Blackwell, Oxford. 1956. 12s. 6d.

L'ouvrage comprend une série de conférences données à Oxford sur l'automatique en 1955. Le sujet est envisagé de divers points de vue; celui du savant, de l'ingénieur, du syndicaliste et de l'économiste, en particulier. Une bibliographie de trois pages termine le livre.

LEPRINCE-RINGUET, Louis, publié sous la direction de: *Grandes découvertes du XXe siecle*. Pp. 503. Librairie Larousse, Paris. 1956. 2705 fr.

Essai de vulgarisation de l'ensemble de la science moderne, tout à fait dans le ton des publications Larousse. L'ouvrage est bien illustré et couvre un terrain remarquablement vaste. L'accent est plutôt sur les sciences physiques que biologiques.

BARER, R.: *Lecture Notes on the Use of the Microscope* (2e édition). Pp. V + 76. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1956. 7s. 6d.

Texte de base essentiel à tous les étudiants faisant usage du microscope. Les conseils pratiques sont prédominants, mais il y a aussi une courte section théorique.

FEIGL, Fritz: *Spot Tests in Organic Analysis* (5e édition). Traduit par Ralph Oesper. Pp. XX + 616. Elsevier Publishing Company, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1956. 55s.

Cette 5e édition d'une œuvre bien connue reflète les progrès considérables réalisés par le Professeur Feigl, entre autres, dans ce domaine depuis la dernière édition, voici 3 ans. On y trouve plus de 80 tests supplémentaires, dont certains inconnus jusqu'ici et il y a une section nouvelle sur l'identification des corps d'intérêt médicinal.

Notes biographiques sur les collaborateurs

SIR CHRISTOPHER HINTON,
M.A., D.Eng., D.Sc.(Eng.), F.R.S.,

Naquit en 1901 à Tisbury, Wiltshire. Après un stage d'apprentissage dans les chemins de fer à Swindon, il fit des études à *Trinity College*, Cambridge. En 1926 il entra dans la Division des Alcalis des Imperial Chemical Industries Limited à Northwich, où il resta jusqu'en 1940, devenant ingénieur principal en 1931. Il fut délégué au Ministère des Fournitures de 1940 à 1946. A la formation de la Division de l'Energie Atomique en 1946 il fut nommé Contrôleur adjoint (Production) et à celle de l'Administration de l'Energie Atomique, en 1954, devint membre du conseil des ingénieurs ainsi que directeur administrateur du Groupe Industriel.

C. T. INGOLD,
D.Sc.,

Naquit à Dublin en 1905 et fit ses études à *Queen's University*, Belfast. En 1930 devint maître de conférences de botanique à l'Université de Reading et en 1937 fut chargé de l'enseignement de la botanique au Collège Universitaire de Leicester, où il resta jusqu'en 1944. Il devint alors Professeur de Botanique à l'Université de Londres (*Birkbeck College*). Il était Président de la *British Mycological Society* en 1953. Il a publié des articles sur les champignons aquatiques (les hypnomycètes en particulier) et la dispersion des spores. Il est l'auteur de *Spore Discharge in Land Plants* (1939) et *Dispersal in Fungi* (1953).

J. P. HUDSON,
M.Sc., Ph.D.,

Naquit dans le Derbyshire en 1910 et obtint ses diplômes d'horticulture au Collège Universitaire (maintenant Université) de Nottingham. Il passa six ans dans l'horticulture commerciale et l'administration horticole de l'East Sussex. Après la guerre, il alla passer trois ans en Nouvelle-Zélande à titre d'horticulteur officiel, puis revint à l'Université de Nottingham comme maître de conférences d'horticulture. En 1950 fut nommé Directeur du Département d'Horticulture à l'Ecole d'Agriculture de Sutton Bonington.

W. G. OVEREND,
D.Sc., Ph.D., F.R.I.C.,

Naquit en 1921 et étudia à l'Université de Birmingham. En 1946 devint maître de conférences adjoint de chimie au Collège Universitaire de Nottingham et en 1949 fut nommé maître de conférences en titre à l'Université de Birmingham. Il est depuis 1955 chargé de cours de chimie organique à *Birkbeck College*, à l'Université de Londres. Ses recherches ont porté surtout sur la chimie des hydrates de carbone et des acides nucléiques.

A. R. PEACOCKE,
M.A., B.Sc., D.Phil.,

Naquit en 1924 et fit ses études à *Exeter College*, Oxford. Après y avoir fait des recherches sur la cinétique de la croissance bactérienne, il entra au département de chimie de l'Université de Birmingham en 1948 comme maître de conférences adjoint, puis en titre. En 1951–52 fut boursier Rockefeller au laboratoire virologique de l'Université de Californie et à celle du Wisconsin. Il a été nommé récemment maître de conférences principal de biochimie au département de microbiologie de l'Université de Birmingham. Ses travaux de recherche concernent principalement la chimie physique des acides nucléiques.

R. MARKHAM,
M.A., Ph.D., F.R.S.,

Naquit en 1916 et étudia à *Christ's College*, Cambridge. Après des études de biochimie, fut nommé adjoint au Directeur du Centre de Recherches sur les Virus végétaux à Cambridge, où il travailla au diagnostic des maladies à virus des plantes et à l'étude des virus par les méthodes physiques. Il s'intéresse depuis de longues années à la chimie des virus et aux acides nucléiques, en particulier. Ses travaux récents concernent surtout les problèmes de structure des acides nucléiques et de leurs produits de dégradation. Il fait partie de la rédaction du *Biochemical Journal*.

W. O. JAMES,
M.A., D.Phil., F.R.S.,

Naquit à Londres en 1900 et fit ses études aux Universités de Reading et de Cambridge. S'occupa d'abord de la nutrition des plantes en potassium dans des expériences en champ à Rothamsted. Chargé de cours de botanique à l'Université d'Oxford, il dirige depuis 1927 une école d'enseignement et de recherches de physiologie végétale, surtout en ce qui concerne la nutrition et la respiration. Directeur de l'*Oxford Medicinal Plants Scheme* pendant la guerre et après; fait partie de la rédaction du *New Phytologist*. A publié *The Biology of Flowers* (en collaboration avec A. R. Clapham), *Plant Respiration*, quelques manuels bien connus et de nombreux articles sur des aspects divers de la botanique.